



SEMINAR NASIONAL KIMIA 2019

ISBN: 978-602-53770-1-3

BUKU PROSIDING

“Peran Riset Kimia Dalam Menghadapi
Revolusi Industri 4.0”

Organized by:



Supported by:



ALMEGA
sejahtera

Your Total Weighing Solution

METTLER TOLEDO ERWEKA IKA

Jurusan Kimia UIN Sunan Gunung Djati
Aula Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Gunung Djati Bandung

PROSIDING
Seminar Nasional Kimia
UIN Sunan Gunung Djati Bandung 2019

Tema:
“Peran Riset Kimia dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0”



Bandung, 26 Oktober 2019
Aula Fakultas Sains dan Teknologi

Penerbit:
Jurusan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
2019

PROSIDING

Seminar Nasional Kimia

UIN Sunan Gunung Djati Bandung 2019

"Peran Riset Kimia dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0"

Jurusan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
2019

ISBN: 978-602-53770-1-3

Reviewer

Soni Setiadji, M.T., M.Si.
Dr. Nunung Kurniasih, M.Si.
Dr. Tina Dewi Rosahdi, M.Si.
Vina Amalia, M.Si.

Editor:

Eko Prabowo Hadisantoso, M.PKim.
Ira Ryski, M.T
Nisa Nur Khasanah, S.Si
Tsani Adiyanti, S.Si.
Yusuf Rohmatulloh, S.Si.
Citra Fitriani Kusman, S.Si.
Asiyah Nurrahmajanti, M.Si

Penerbit:

Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung

Redaksi:

Gedung Fakultas Sains dan Teknologi lantai 2
UIN Sunan Gunung Djati
Jl. A.H. Nasution No. 105 Bandung 40614

Hak cipta © pada Penerbit dan dilindungi Undang-Undang Penerbitan
Hak Penerbitan pada Tim Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa dan Penyayang atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga buku Prosiding Seminar Nasional Kimia UIN Sunan Gunung Djati Bandung 2018 ini dapat tersusun. Sholawat dan salam kita sampaikan pada manusia termulia yang membimbing kita dari kegelapan menuju cahaya terang benderang, yaitu Nabi besar Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabatnya dan umatnya hingga akhir zaman.

Buku Prosiding ini disusun sebagai output dari kegiatan Seminar Nasional Kimia tahun 2019 dengan tema “Peran Riset Kimia dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0” yang diselenggarakan oleh jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Peserta kegiatan Seminar Nasional Kimia 2019 berjumlah 105 orang terdiri dari 3 pemakalah utama, 69 pemakalah oral, 16 peserta poster, 17 non pemakalah Makalah-makalah tersebut berasal dari berbagai bidang ilmu kimia yang meliputi kimia analitik, kimia anorganik, kimia organik, kimia fisik dan komputasi, biokimia serta pendidikan kimia.

Pada kesempatan ini kami sebagai panitia mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang terlibat dalam seminar dan penyusunan buku prosiding ini. Besar harapan kami bahwa output seminar ini dapat memberikan dapat positif terhadap perkembangan ilmu kimia khususnya di Indonesia. Selain itu kami juga menyampaikan maaf jika dalam penyelenggaraan seminar dan penyusunan buku prosiding terdapat hal-hal yang kurang berkenan.

Terima kasih.

Bandung, Oktober 2019

Penyusun

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	iv
Sambutan Ketua Jurusan.....	vi
Makalah-makalah	

Lany Nurhayati, Lisa Rosdiana, Amry Syawaalz	Bakteri <i>Raoultella ornithinolytica</i> B4 sebagai Pendeградasi Klorpirifos	1-5
Ekki Kurniawan, Bandiyah Sri Aprillia, Rizky Hidayat Husein Bahti, Anni Anggraeni, Iman Rahayu, Rintis Manfaati	Perancangan Instrumen Elektrolisis dengan Sumber Energi Matahari untuk Produksi Air Alkali dan Air Asam	6-11
Tety Sudiarti, Anggi Yulian Silviyanadewi	Parameter Aktivasi pada Proses Inhibisi Korosi Besi dalam Larutan NaCl 1% Menggunakan Polietilen Oksida (PEO)	12-15
Cita Rachmi Andini, Vina Amalia, Eko Prabowo Hadisantoso	Pemanfaatan Seledri (<i>Apium graveolens</i> Linn) sebagai Biosorben Untuk Ion Logam Pb(II)	16-22
Mamay Maslahat, Dian Arrisujaya Nurlida Dwianisa	Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Penyerap <i>Remazol Brilliant Blue</i> dalam Limbah Industri Batik Bogor	23-31
Suci rizki nurul aeni, farhan baehaki, Handarini	Biosorpsi Logam Berat Cr ⁶⁺ Dalam Air Sungai Citarum Desa Nanjung Menggunakan Biomassa <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	31-38
Edwin Permana, Excel Emerlan Samiar Wasistha, Sumbogo Murti	Sintesis <i>Pure Plant Oil (PPO)</i> dari Minyak Biji Kapuk Randu (<i>Ceiba pentandra</i> L.)	39-48
Ari Widiyantoro, Wolly Candramila, Muhammad Akib Yuswar	Senyawa Antimalaria dari Fraksi Diklorometana Rhizoma Kecombrang (<i>Etlingera elatior</i>)	49-52
Mita Nurhayati, Muhamad Abdulkadir Martoprawiro	Kajian Kereaktifan Molekul Hasil Isolasi Kulit Batang Turi : <i>Sesbigrandiflorain</i>	53-61
Wiwi Siswaningsih, Nahadi, Rizki Ulfyah Lestari	Pengembangan Instrumen Penilaian Kinerja Pada Praktikum Penentuan Rumus Kimia Senyawa Hidrat	62-66
Otong Nugraha	Upaya Meningkatkan Hasil Belajar Siswa dalam Pembelajaran Analisis Potensiometri Melalui Penerapan Model Pembelajaran Tutor Sebaya di SMK Negeri 13 Bandung	67-70

Florentina Maria Titin Supriyanti, Zackiyah, Afifah Nurkamila, Fiona Finandia, Silvi Oxtaviani, Setia Ardi Praja	Peningkatan Keterampilan Pengambilan Keputusan Siswa Kelas VIII dalam Memilih Jajanan yang Aman Dikonsumsi	71-77
Yoana Nurul Asri, Budi Mulyati	<i>Real Time System</i> Teknologi Berbasis STEAM dalam Revolusi Industri 4.0	78-80
Witri Nuraeni, Eva Maria Widyasari, Maula Eka Sriyani	Pemilihan Sistem Kromatografi untuk Penentuan Kemurnian Radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin	81-86
Dadan Sumardan	Potensi Limbah Elektronik Telepon Selular sebagai Pewarna	87-93
Sari, Jumiaty, Neneng Windayanti	Aktivitas Siswa Pada Pembuatan Sabun Cair Dari Minyak Nabati Berbasis Proyek	94-102
Yulia Sukmawardani, Delvy Hasna Fauziah, Desi Dwi Astuti, Cucu Zenab Subarkah	Pembuatan Mol (Mikroorganisme Lokal) dari Limbah Buah-Buahan Sebagai Pupuk Cair Organik	103-106
Tania Putri, Nia Yuliani, RTM Sutamihardja	Gula Cair dari Pati Ubi Jalar Kuning (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam) secara Hidrolisis Enzimatis dan Asam	107-113
Silviani Rahma, Tun Susdiyanti, Nengsih Anen.	Persepsi Masyarakat Sekitar Tambang Timah Terhadap Penambang Timah <i>Illegal</i> di Tahura Bukit Mangkol Provinsi Kepulauan Bangka Belitung	114-119
Maula Eka Sriyani, Eva Maria Widyasari, Muharam Marzuki, Fauziah Isnani	Radiolabeling Rutin (Quercetin-3-O-Rutinoside) dengan Iodium-131 (^{131}I) dalam Suasana Asam sebagai Senyawa Bertanda Kandidat Terapi dan Diagnosis Kanker	120-125

Sambutan Ketua Jurusan

Yth. Dekan FST UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Pembicara

Pemakalah

Panitia Penyelenggara (Dosen, Staf dan Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Kimia)

Undangan dan Hadirin Sekalian

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa dan Penyayang atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga kegiatan Seminar Nasional Kimia tahun 2019 dengan tema “Peran Riset Kimia dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0” yang diselenggarakan oleh jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung dapat dilaksanakan.

Peserta kegiatan Seminar Nasional Kimia 2019 berjumlah 105 orang terdiri dari 3 pemakalah utama, 69 pemakalah oral, 16 peserta poster, 17 non pemakalah Makalah-makalah tersebut berasal dari berbagai bidang ilmu kimia yang meliputi kimia analitik, kimia anorganik, kimia organik, kimia fisik dan komputasi, biokimia serta pendidikan kimia.

Indonesia merupakan salah satu negara yang tengah menghadapi Revolusi Industri 4.0. Dalam menghadapi era ini peran riset Kimia menjadi salah satu hal terpenting untuk menunjang peningkatan kualitas sumber daya manusia. Peran riset kimia dapat mendorong perkembangan industri –industri di dalam negeri terutama industri kimia sehingga industri kimia dapat lebih terdorong untuk inovatif, produktif dan efisien.

Besar harapan kami, dengan diselenggarakannya kegiatan ini dapat menjadikan hasil-hasil penelitian sebagai sumber informasi penting bagi seluruh kimiawan di Indonesia, maupun masyarakat luas dalam menghadapi Revolusi Industri 4.0. Sebagai pimpinan jurusan, saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dan telah hadir dalam kegiatan ini serta tak lupa kami sampaikan permohonan maaf jika ada yang kurang berkenan dalam pelayanan selama kegiatan seminar nasional ini berlangsung.

Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Sunan Gunung Djati Bandung

Eko Prabowo Hadisantoso, M.Pkim

Bakteri *Raoultella ornithinolytica* B4 sebagai Pendegradasi Klorpirifos

LANY NURHAYATI*, LISA ROSDIANA, DAN AMRY SYAWAALZ

Prodi Kimia, Universitas Nusa Bangsa, KH Sholeh Iskandar Km 4, Bogor 16166

* alamat email korespondensi: lany@unb.ac.id

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci:
Degradasi;
Raoultella
ornithinolytica B4;
Klorpirifos

Pengendalian organisme pengganggu tanaman yang digunakan petani adalah pestisida kimia, diantaranya klorpirifos, namun penggunaan yang tidak terkendali dapat menyebabkan akumulasi di dalam tanah karena bahan mineral dan organik tanah dapat menyerap pestisida tersebut. Teknik remediasi secara biologi untuk meminimalisir polutan tanah dapat menggunakan bakteri. *Raoultella ornithinolytica* B4 merupakan bakteri golongan *Enterobacteriaceae* yang dapat mendegradasi heptaklor dalam media mineral selama 35 hari. Bakteri akan diuji pada media kaldu nutrisi pH 5, 7 dan 9 yang mengandung klorpirifos, sertadiinkubasi selama 73 hari, kemudian diidentifikasi turunannya menggunakan KGSM. Hasil analisis KGSM menunjukkan bahwa konsentrasi klorpirifos menurun pada masa inkubasi 16 hari pada seluruh pH, konsentrasi semakin menurun berbanding lurus dengan masa inkubasi. Setelah waktu inkubasi 73 hari, klorpirifos terdegradasi menjadi turunannya yaitu 3,5,6-trikloro-2-piridinol (TCP) pada m/z 197 dan dietiltiofosfat (DETP) memiliki m/z 171 sebagai hasil hidrolisis klorpirifos. Bakteri *Raoultella ornithinolytica* B4 dapat mendegrasi klorpirifos.

Keywords:
Degradation;
Raoultella
ornithinolytica B4;
Chlorpyrifos

Pest control of plant that are used by farmers is chemical pesticides, including chlorpyrifos, but uncontrolled use can cause accumulation in the soil because soil mineral and organic matter can absorb these pesticides. Biological remediation techniques to minimize soil pollutants can use bacteria. Raoultella ornithinolytica B4 is a class of bacteria Enterobacteriaceae that can degrade heptachlor in Mineral Media for 35 days. Bacteria will be tested on nutrient broth media pH 5, 7 and 9 containing chlorpyrifos, as well as incubation for 73 days, and then their derivatives are identified using GC-MS. The results of the GC-MS analysis showed that the chlorpyrifos concentration decreased during the incubation period of 16 days at the entire pH, the concentration decreased in proportion to the incubation period. After an incubation time of 73 days, chlorpyrifos were degraded to their derivatives, 3,5,6-trichloro-2-pyridineol (TCP) at m / z 197 and diethylphosphate (DETP) had m / z 171 as a result of chlorpyrifos hydrolysis. Raoultella ornithinolytica B4 bacteria can integrate chlorpyrifos.

PENDAHULUAN

Gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT) merupakan kendala utama yang dihadapi petani dalam budidaya tanaman pertanian startegis maupun hortikultura. Pestisida kimia merupakan sarana pengendalian OPT yang panling banyak digunakan oleh petani di Indonesia, karena dianggap efektif, mudah digunakan, dan menguntungkan secara ekonomi. Pestisida yang banyak direkomendasikan bidang pertanian adalah insektisida golongan organofosfat, salah satunya klorpirifos [1].

Penggunaan insektisida yang berlebihan dapat menghasilkan residu di dalam tanah, karena bahan mineral dan organik tanah dapat menyerap insektisida tersebut. Lahan tercemar insektisida

tersebut sangat berkontribusi dalam produk pertanian, sehingga perlu dilakukan perbaikan lahan melalui remediasi. Salah satu teknik remdiasi dilakukan melalui bioremediasi dengan memanfaatkan mikroba pendegradasi polutan. Salah satu mikroba yang telah dimanfaatkan sebagai pendegradasi polutan adalah *Raoultella ornithinolytica* B4. Bakteri tersebut dapat mendegradasi insektisida heptaklor menjadi 1-hidroksiklordene, yang terdapat dalam tanah tercemar heptaklor [2]. Beberapa penelitian sebelumnya bakteri pendegradasi klorfirifos diantaranya dari golongan *Pseudomonas* [3] [4] [5].

Pada peneltian ini, degradasi klorpirifos akan diuji menggunakan bakteri *Raoultella ornithinolytica* B4 secara *in vitro* pada media

kaya nutrisi dengan pH tertentu selama 73 hari. Hasil degradasi berupa turunan klorpirifos akan ditentukan menggunakan kromatografi gas-spektrofotometer massa (KG-SM) berdasarkan rasio m/z.

EKSPERIMEN

Degradasi klorpirifos oleh bakteri *R. ornithinolytica* B4 dilakukan secara *in vitro* dengan perlakuan variasi pH dan waktu inkubasi, serta kontrol tanpa penambahan bakteri mengikuti metode dari [2], dan waktu inkubasi selama 73 hari, serta penentuan struktur dari turunan klorpirifos menggunakan KG-SM.

Material

Bahan-bahan yang digunakan adalah standar klorpirifos (Chem Service, kemurnian 99,7%), bakteri *R. ornithinolytica* B4 (koleksi Lab. Biologi UNB), Nutrient Agar (NA) (Oxoid CM 0003), Nutrient Broth (NB) (Oxoid CM 0001), aseton (p.a Merck), NaCl fisiologis 1%, n-heksana (p.a Sigma Aldrich) dan aquadest.

Instrumentasi

Alat-alat yang digunakan terdiri dari peralatan gelas, neraca analitik Kern, *hotplate and magnetic stirrer* Thermo Scientific, autoclave, pH meter Ohaus Starter 3100, inkubator Memmert, rotary evaporator Buchi, *colony and hand counter*, KG Shimadzu 2010 plus, dan KG-SM Agilent 7890B.

Prosedur

Degradasi klorpirifos

Bakteri *R. ornithinolytica* B4 diremajakan pada media NA selama 24 jam. Kemudian, bakteri tersebut dipipet sebanyak 1 mL dimasukkan kedalam 50 mL media NB yang mengandung klorpirifos 10 mg/L dengan masing-masing variasi pH (5, 7, dan 9) dan diinkubasi selama 73 hari. Untuk kontrol negatif digunakan standar klorpirifos 10,8670 mg/L dalam media NB.

Pada waktu inkubasi ke nol, 16, 32, 72, dan 73 hari dilakukan pengamatan terhadap viabilitas bakteri, perubahan konsentrasi klorpirifos, dan hari ke-73 dilakukan penentuan struktur turunan dari klorpirifos.

Viabilitas bakteri *Raoultella ornithinolytica* B4

Viabilitas bakteri ditentukan berdasarkan pertumbuhan bakteri pada media NB menggunakan metode Angka Lempeng Total (ALT) dari tiap perlakuan pH dan waktu inkubasi, dengan menghitung koloni bakteri yang tumbuh menggunakan alat *colony counter*.

$$\text{Jumlah koloni } \left(\frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \right) = \frac{\text{Jumlah koloni}}{\text{faktor pengenceran}}$$

Ekstraksi klorpirifos

Ekstraksi klorpirifos dari tiap perlakuan pH dan waktu inkubasi menggunakan pelarut *n*-heksana dengan perbandingan 1:1. Ekstrak diuapkan menggunakan rotary evaporator dan dilarutkan dalam 10 mL aseton, selanjutnya diinjeksikan ke dalam KG dan dihitung konsentrasi klorpirifos dengan menggunakan kurva standar klorpirifos.

Penentuan struktur turunan klorpirifos menggunakan KG-SM

Analisis perubahan struktur klorpirifos setelah 73 hari waktu inkubasi dilakukan menggunakan alat KG-SM dengan kondisi alat sebagai berikut: kolom HP5-MS (30m x 250µm x 0,25µm), suhu terprogram (80°C selama 1 menit, 210 °C selama 2 menit, dengan kenaikan 40°C/menit, 300°C selama 3,5 menit dengan kenaikan 10°C/menit), dan gas pembawa berupa nitrogen dengan laju alir 1,5 mL/menit, volume 1µL. Perubahan struktur dilihat berdasarkan perubahan massa relatif (m/z) menggunakan metode *Selected Ion Monitoring* (SIM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Viabilitas bakteri *Raoultella ornithinolytica* B4

Viabilitas bakteri sangat dipengaruhi oleh pH. Bakteri *R. ornithinolytica* B4 merupakan bakteri netrofil yang tumbuh pada pH 6-8 [2]. Aktivitas metabolisme bakteri menghasilkan produk asam dari karbohidrat, dan alkalin dari protein yang akan mengubah kisaran pH larutan. Untuk mempertahankan nilai pH, biasanya ditambahkan larutan buffer ke dalam larutan sampel. Namun, media NB mengandung pepton

yang bersifat amfoter, maka pepton bertindak sebagai buffer alami yang akan tetap mempertahankan pH larutan [6]. Selain itu, sumber karbon dari media NB digunakan oleh bakteri untuk energi dan pembentukan struktur sel. Semakin lama waktu inkubasi, jumlah sel berkurang karena sumber karbon semakin sedikit [7].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa viabilitas bakteri *R. ornithinolytica* B4 tetap dapat tumbuh dengan baik pada pH yang sesuai, walaupun jumlahnya berfluktuasi selama masa inkubasi (**Tabel 1**).

Tabel 1 Viabilitas bakteri *R. ornithinolytica* B4

No.	Waktu inkubasi (hari)	Jumlah koloni x 10 ⁵		
		pH 5	pH 7	pH 9
1.	0	8	14	14
2.	16	10	TBUD	15
3.	32	TBUD	TBUD	TBUD
4.	72	14	12	5
5.	73	11	3	11

Keterangan : TBUD = Tidak Bisa Untuk Dihitung

Degradasi klorpirifos

Proses utama degradasi klorpirifos melalui penguapan, fotolisis, hidrolisis kimia, dan degradasi oleh mikroba. Proses degradasi menggunakan mikroba disebut biodegradasi, yang lebih ramah lingkungan dan efisien.

Menurut [8], degradasi klorpirifos di dalam tanah bergantung pada empat variabel yaitu jumlah pestisida atau metabolitnya yang tersedia bagi mikroba, status fisiologis mikroba, kelangsungan dan floriferasi mikroba yang dapat menurunkan pestisida di tempat terkontaminasi, dan populasi mikroba yang tetap hidup. Kemudian, menurut [9] ada dua proses degradasi bahan kimia organik oleh mikroorganisme yaitu katabolisme dan ko-katabolisme. Faktor lain yang mempengaruhi biodegradasi adalah suhu, pH, sumber hara, karbon, dan nitrogen. Degradasi klorpirifos dipengaruhi oleh pH.

Degradasi klorpirifos oleh bakteri *R. ornithinolytica* B4 pada media NB dengan nilai pH 5, 7 dan 9 selama 73 hari menunjukkan adanya penurunan konsentrasi sebesar 50% dan perubahan struktur menjadi turunannya (**Tabel 2**). Sedangkan, pada kontrol negatif, klorpirifos hanya mengalami sedikit penurunan konsentrasi dari 10,8670 mg/L menjadi 9,8931 mg/L selama 73 hari.

Penurunan konsentrasi klorpirifos ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian [10], yang menyatakan bahwa klorpirifos dapat terdegradasi oleh bakteri *Bacillus cereus* sebanyak 86,20% selama 60 jam setelah aplikasi, pada media NB.

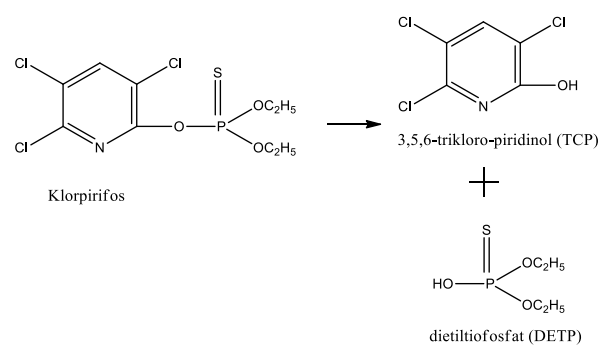
Hal ini dapat disebabkan bakteri *R. ornithinolytica* B4 merupakan bakteri Gram negatif yang memiliki lapisan peptidoglikan yang tipis dan lapisan membran luar yang tersusun lipid, serta bersifat anaerob fakultatif. Menurut [11] bakteri Gram negatif mampu bertahan dalam kondisi konsentrasi pestisida yang tinggi, karena adanya plasmid DNA yang toleran terhadap efek racun akibat penggunaan pestisida. Sedangkan, bakteri *B. cereus* merupakan bakteri Gram positif yang memiliki dinding sel yang lebih tebal, aerob fakultatif sehingga mampu memanfaatkan klorpirifos sebagai sumber energi secara aerob dan anaerob, sehingga klorpirifos lebih cepat degradasi. Selain itu, pH yang basa dapat mempercepat proses degradasi klorpirifos, sedangkan pada pH asam lebih lambat.

Tabel 2 Penurunan konsentrasi klorpirifos pada kontrol negatif

No.	Waktu inkubasi (hari)	konsentrasi klorpirifos (mg/L)		
		pH 5	pH 7	pH 9
1.	0	10,6151	10,3448	10,4864
2.	16	4,8958	5,1212	4,3662
3.	32	3,1760	1,1338	1,7566
4.	72	1,1444	0,9126	ttd
5.	73	ttd	ttd	ttd

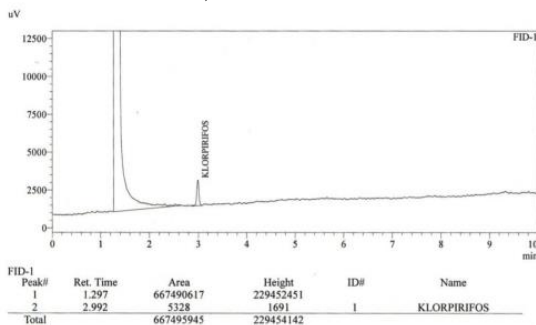
Keterangan : ttd = tidak terdeteksi

Klorpirifos mengalami perubahan struktur menjadi turunannya yaitu 3,5,6-trikloro-2-piridinol (TCP) melalui jalur degradasi seperti pada **Gambar 1**.

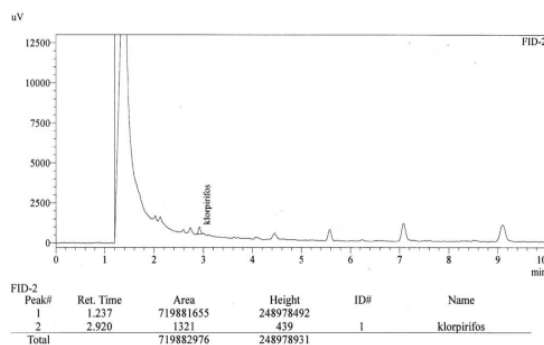


Gambar 1 Jalur degradasi klorpirifos [12]

Berdasarkan kromatogram, klorpirifos ditunjukkan pada waktu retensi 7,991 menit (**Gambar 2 dan 3**).

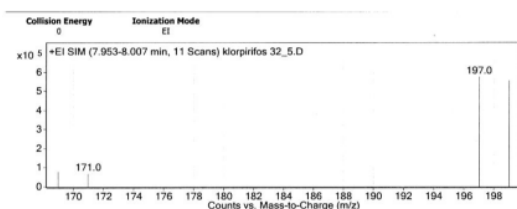


Gambar 2 Standar klorpirifos



Gambar 3 Klorpirifos setelah 32 hari

Untuk spektrum massa puncak dari standar klorpirifos menunjukkan puncak ion dengan nilai m/z 351. Setelah masa inkubasi 16 hari, beberapa puncak baru muncul di waktu retensi yang berbeda. Puncak ini diidentifikasi sebagai TCP dan DETP. Analisis dilanjutkan menggunakan metode *Selective Ion Monitoring* (SIM), hanya merespon senyawa yang memiliki fragmen massa yang dipilih. Menurut [13] TCP dan DETP memiliki puncak ion yaitu nilai m/z 197, 199, 169, dan 171. Hasil analisis ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Spektrum m/z TCP dan DETP

Produk hidrolisis *intermediate* utama klorpirifos adalah TCP dan DETP yang bersifat toksik dan bioakumulatif. TCP memiliki sifat kelarutan dalam air yang tinggi dibandingkan dengan klorpirifos, karena memiliki gugus -OH yang dapat berikatan dengan air, sehingga cukup

luas kontaminasinya di tanah dan lingkungan perairan [12].

SIMPULAN

Bakteri *R. ornithinolytica* B4 dapat mendegradasi klorpirifos menjadi 3,5,6-trikloro-2-piridinol (TCP) dan dietiltiofosfat (DETP) setelah 73 hari waktu inkubasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Balai Pengujian Mutu Produk Tanaman, jalan AUP Pasar Minggu, Jakarta Selatan yang telah memfasilitasi alat KG-SM untuk identifikasi klorpirifos dan turunannya.

REFERENSI

- [1] Sembiring, Pengaruh pencucian terhadap residu pestisida profenofos pada cabai merah, Medan: USU, 2011.
- [2] Nurhayati, Lany;, Bioaugmentasi tanah tercemar heptaklor oleh bakteri tempatan dengan biochar tempurung kelapa, Depok: FMIPA-Departemen Ilmu Kimia UI, 2016.
- [3] R. Bhagobaty dan A. Malik, "Utilization of chlorpyrifos as a sources of carbon by bacteria isolated from wastewater irrigated agricultural soils in asn industrial area of Western Utar Pradess, India," *Research journal of microbiology*, vol. 3, no. 5, pp. 293-307, 2008.
- [4] Kumar, S;, "Bioremediationof chlorpyrifos by bacteria isolated from the cultivated soils," *Journal of pharma and bio science*, vol. 02, no. 3, pp. 359-366, 2011.
- [5] K. Rokade dan M. G.V, "Biodegradation of chlorpyrifos by Pseudomonas domesticum NCIM 2112," *Journal of pharma and bio science*, vol. 4, no. 2, pp. 609-616, 2013.
- [6] T. I. Sumatmo, Eksperimen mikrobiologi dalam laboratorium, Jakarta: Ardy Agency, 2009.
- [7] Hafiluddin, "Bioremediasi tanah tercemar minyak dengan teknik bioaugmentasi dan

- biostimulasi," *EMBRYO*, vol. 8, no. 1, pp. 47-52, 2011.
- [8] P. Riya dan T. Jagatpati, "Biodegradation and bioremediation of pesticides in soil: Its objectives, classification of pesticide, factor and recent development," *World Journal Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 606-616, 2012.
- [9] R. A. Gilani, M. Rafique, A. Rehman, M. F. Munis, S. Rehman dan A. H. Chaundhary, "Biodegradation of chlorpyrifos by bacteria genus *Pseudomonas*," *Basic Microbiology*, vol. 55, pp. 1-15, 2015.
- [10] E. Sulaeman, Eksplorasi bakteri pendegradasi insektisida klorpirifos di lahan sayuran kubis Jawa barat, Bogor: IPB, 2016.
- [11] S. R. Naphade, A. Durve, M. Bhot, J. Varghese dan N. Chandra, "Isolation, characterization, and identification of pesticide tolerating bacteria from garden soil," *European J of Experimental Biology*, vol. 2, no. 5, pp. 1943-1951, 2012.
- [12] H. Jabeen, I. Samima dan S. Anwar, "Biodegradation chlorpyrifos and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol by a novel rhizobial strain *Mesorhizobium* sp HN3," *Water and Environment J*, vol. 29, pp. 151-160, 2015.
- [13] A. V. Reddy, V. Madhavi, K. G. Reddy dan G. Madhavi, "Remediation of chlorpyrifos-contaminated soil by laboratory-synthesized zero-valent nano iron particles: effect of pH and aluminum salts," *Journal of chemistry*, vol. 1, pp. 1-7, 2012.
- [14] P. Bormans, *Ceramics are more than Clay Alone*, Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2004.
- [15] M. P. Fewell, "The atomic nuclide with the highest mean binding energy," *American Journal of Physics*, vol. 63, no. 7, pp. 653-658, 1995.

Perancangan Instrumen Elektrolisis Dengan Sumber Energi Matahari untuk Produksi Air Alkali dan Air Asam

EKKI KURNIAWAN^{*1}, BANDIYAH SRI APRILLIA¹, RIZKY HIDAYAT¹, HUSEIN BAHTI², ANNI ANGGRAENI², IMAN RAHAYU², DAN RINTIS MANFAATI³

¹Telkom University, Dayeuhkolot Kabupaten Bandung

²Universitas Padjadjaran, Jatinangor Kabupaten Sumedang

³Politeknik Bandung, Kota Bandung

* alamat email korespondensi: ekkikurniawan@telkomuniversity.ac.id

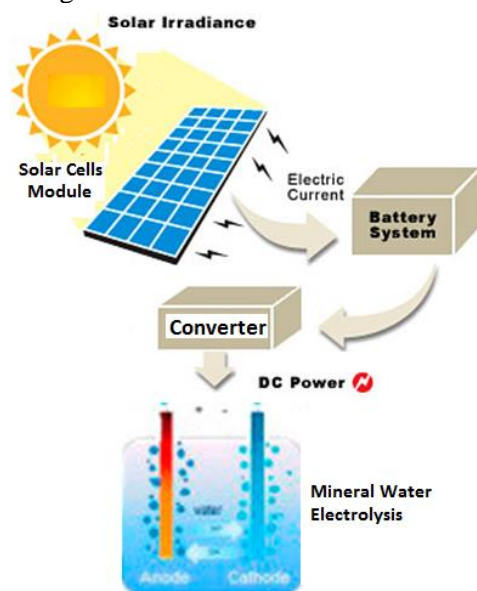
Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci : Elektrolisis air;pH; Air alkali dan asam; Standar air minum</p>	<p>Elektrolisis adalah suatu proses penguraian zat atau larutan dengan menggunakan arus listrik. Elektrolisis air murni (H₂O) akan menghasilkan produk berupa gas hidrogen di sisi katode, dan gas oksigen di sisi anode. Elektrolisis air mineral dengan pemisah membran dapat merubah pH-nya sehingga dihasilkan air alkali dengan pH >7 dan air asam dengan pH < 7. Standar pH air minum maksimum yang ditetapkan oleh WHO (2006) dan Permenkes RI (2010) adalah 9,5 dan 8,5. Paper ini membahas proses elektrolisis air mineral jenis <i>batch</i> dengan sumber energi berasal dari matahari. Instrumen elektrolisis dirancang untuk memfasilitasi produksi air asam dan air alkali yang efisien, sedemikian rupa sehingga tidak banyak gas hidrogen dan gas oksigen yang terbentuk. Sistem instrumentasi elektrolisis dibuat pada volume tetap sebanyak tiga liter (1,7 liter di sisi katode; 1,3 liter di sisi anode) sedangkan luas membran, tegangan, jumlah dan jarak elektrode dibuat bervariasi. Sumber tegangan berasal dari modul sel surya yang disimpan dalam baterai 12V dan diubah oleh konverter hingga 150V, bahan elektrode terbuat dari karbon grafit dan membran dari bahan kapas selulosa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa elektrolisis pada tegangan 150V lebih cepat menaikkan dan menurunkan pH dibanding pada tegangan 100V. Penambahan luas lubang untuk membran dapat mempercepat proses elektrolisis, sedangkan perubahan jarak elektrode pada 4 cm, 8 cm, dan 12 cm tidak terlalu banyak berpengaruh pada perubahan pH. Hasil elektrolisis di sisi katode berupa air alkali masih tetap memenuhi standar air minum yang ditetapkan WHO dan Permenkes RI.</p>
<p>Keywords: Water Electrolysis; pH, Alkaline and Acid waters; Instrumentation, Standards.</p>	<p><i>Electrolysis is a process of decomposition of a substance or solution using electrical current. Electrolysis of pure water (H₂O) will produce a product, in the form of hydrogen gas on the cathode and oxygen gas on the anode side. Electrolysis of mineral water with membran filter can produce alkaline water and acidic water, which is useful for improving public health. The maximum drinking water pH standard set by WHO (2006) and the health department of the Republic of Indonesia (2010) is 9.5 and 8.5. This paper investigated a batch type mineral water electrolysis process with energy source derived from the sun. The electrolysis instruments designed to facilitate the production of efficient acidic and alkaline water, so that hydrogen and oxygen gases is not much formed in the cathode and the anode sections. The electrolysis instrumentation system is made at a fixed volume of three liters, while the membrane area, the voltage, number, and distance of electrodes, are varied. The voltage source comes from the solar cell module which is stored in a 12 V battery and changed by the converter up to 150 V, the electrode material is made of carbon graphite and the membrane is made from the cellulose cotton. The test results show that electrolysis at 150V voltage can increases and decreases pH faster than at 100V voltage. Increasing the area of the hole to the membrane can accelerate the electrolysis process, while the change in electrode distance at 4 cm, 8 cm and 12 cm does not affect the pH change too much. The results of electrolysis in cathode section for alkaline water still meet the drinking water standards set by WHO and the Republic of Indonesia Minister of Health Regulation.</i></p>

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan tegangan DC adalah sistem elektrolisis air yang dapat menghasilkan air alkali dan air asam. Saat ini di pasaran telah dijual peralatan untuk memproduksi air alkali dan air asam tipe kontinu, namun alat tersebut memiliki kelemahan, yaitu masih cukup mahal dan belum terjangkau oleh masyarakat luas.

Penelitian ini bermaksud mengembangkan dan memodifikasi proses elektrolisis air tipe *batch* dengan sumber energi instrumen elektrolisis berasal dari matahari. Sistem instrumentasi elektrolisis yang dirancang dibuat pada volume tetap sebanyak lima liter, sedangkan besar tegangan, jumlah elektrode, luas membran dibuat bervariasi. Sumber tegangan berasal dari modul sel surya yang disimpan dalam baterai, bahan elektrode terbuat dari karbon grafit dan membran dari bahan kapas selulosa.

Gambar 1 memperlihatkan bagan sistem elektrolisis air mineral dengan sumber energi dari matahari. Energi matahari diserap oleh modul sel surya (MSS) kemudian disimpan pada baterai, lalu ditingkatkan tegangannya dengan converter untuk mencatu bejana elektrolisis air mineral yang akan menghasilkan air alkali dan air asam.



Gambar 1 Sistem elektrolisis air mineral dengan sumber energi dari matahari (<https://www.beluga-solarlighting.com/how-we-get-energy-from-sun-to-earth/>).

Standar Air Minum

Air minum yang berkualitas harus memenuhi persyaratan fisika, kimia, dan biologis. Syarat fisika di antaranya jernih, rasa tawar, tidak berbau, temperaturnya normal dan tidak mengandung zat padatan. Syarat biologi tidak terdapat bakteri *Eschericia Coli*. **Tabel 1** menunjukkan beberapa standar terkait dengan kualitas air minum. Syarat kimia antara lain pH, TDS dan kesadahan.

Menurut *World Health Organization* (WHO) tahun 2006 standar pH air minum untuk konsumsi sehari-hari adalah 6,5-9,5, dengan pH air yang bersifat asam dibatasi dan tidak boleh kurang dari 6,5. Sedangkan pH air basa/alkali dapat mencapai 9,5. Standar WHO untuk *Total Dissolved Solids* (TDS) dapat mencapai 1000 mg/L, sedangkan standar IBWA dan Permenkes NKRI 2010 dibatasi hingga 500 mg/L.

Tabel 1 Standar pH, TDS dan kesadahan untuk air minum dengan satuan ppm atau mg / L (Sulaiman *et al*, 2011)

Parameter	WH O ^a (2006)	IBW A ^b (2008)	NKRI ^c (2010)
pH	6.5–9.5	6.5–8.5	6.5–8.5
TDS	1000	500	500

Keterangan

- a. WHO: World Health Organization
- b. IBWA: International Bottled Water Association
- c. NKRI: Negara Kesatuan Republik Indonesia

Material dan metode

Gambar 2 memperlihatkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua kotak plastik bejana elektrolisis untuk sisi katode dan anode masing-masing berukuran 5 liter dan 1,7 liter, diisi sebagian 1,7 liter katode dan 1,3 liter di sisi anode total 3 liter. Elektrode karbon yang dipakai dari bagian tengah pensil 2B diameter 1mm dan membran berupa kapas.

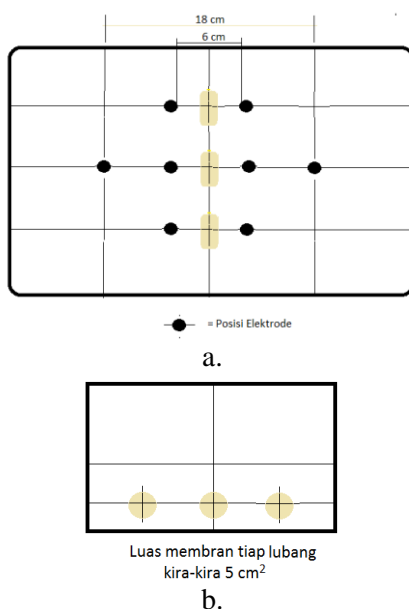


Gambar 2 Alat dan bahan elektrolisis terdiri dari wadah anode dan katode, membran kapas selulosa serta karbon grafit dari pensil.

Peralatan untuk catu daya dan alat ukur terdiri MSS, baterai sebagai penyimpan energi dari MSS, *converter* yang berfungsi mengubah dan meningkatkan tegangan listrik, elektrode karbon, pH meter, TDS meter. Spesifikasi MSS meliputi daya maximum 10Wp, tegangan pada daya maximum 18,03V, arus pada daya maximum 0,56A, tegangan terbuka (*opencircuit voltage*) 21,28V, arus hubung singkat (*short circuit current*) 6,5A, dan kapasitas baterai 7,2Ah.

Pengujian dan percobaan dan pengukuran elektrolisis, dibuat dengan variasi tegangan keluaran *converter* sebesar 100V dan 150V, luas bidang membran satu dan tiga lubang, jumlah elektrode satu dan tiga pasang dan jarak 4, 8, dan 12 centimeter, selama waktu 3 hingga 5 jam. Setiap selang waktu tersebut dicatat perubahan pH dan TDS nya, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 hingga Tabel 6.

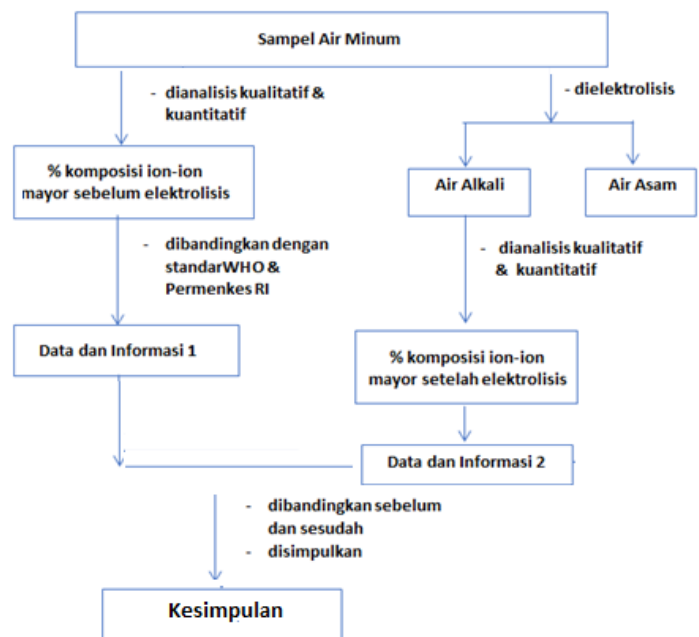
Gambar 3 a. menunjukkan posisi pemasangan elektrode pada tutup di sisi katode dan anode **Gambar 3 b.** Posisi lubang untuk pemasangan membran pada salah satu sisi anode.



Gambar 3 a. Posisi pemasangan elektrode pada tutup di sisi katode dan b. posisi lubang membran pada salah satu sisi anode

Bagan diagram alir dapat dilihat pada **Gambar 4.** Diagram alir penelitian ini dimulai

dengan menyediakan sampel air yang akan dielektrolisis. Analisis kualitatif dan kuantitatif dilakukan di laboratorium kimia yang ada di kota Bandung. Selanjutnya dilakukan proses elektrolisis terhadap jenis air tersebut masing-masing tiga liter sesuai ukuran wadah elektrolisis. Air yang sudah dielektrolisis bersifat asam dan alkali diambil sampelnya untuk dianalisis kembali. Hasil analisis air alkali ini akan dibandingkan dengan standar WHO dan permenkes NKRI apakah masih layak minum atau tidak.



Gambar 4 Metode penelitian sampel air minum sebelum dan sesudah elektrolisis dibandingkan dengan standar air minum WHO dan permenkes NKRI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel-tabel berikut ini merupakan hasil pengujian sampel air tanah yang di ambil dari daerah Gunung Batu Cimahi. **Tabel 2** menunjukkan hasil pengukuran pH dengan tegangan keluaran konverter 100V, satu lubang membran, satu pasang elektrode yang berjarak 4 cm. Pengukuran dilakukan dua kali, hari pertama dan hari kedua. Elektrolisis dilakukan selama 5 jam terjadi kenaikan pH di sisi katode sebesar 1,5 - 1,7. Sementara itu terjadi penurunan pH di sisi anode sebesar 1,6- 2,0.

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran pH dengan tegangan keluaran konverter 150V, satu lubang membran, satu pasang elektrode yang berjarak 4 cm. Pengukuran dilakukan dua kali,

hari pertama dan hari kedua. Elektrolisis dilakukan selama 5 jam terjadi kenaikan pH di sisi katode sebesar 2,4 – 2,8. Sementara itu terjadi penurunan pH di sisi anode sebesar 4,1-3,9. Dengan demikian semakin tinggi tegangan yang dipasang semakin tinggi perubahan pH yang dihasilkan.

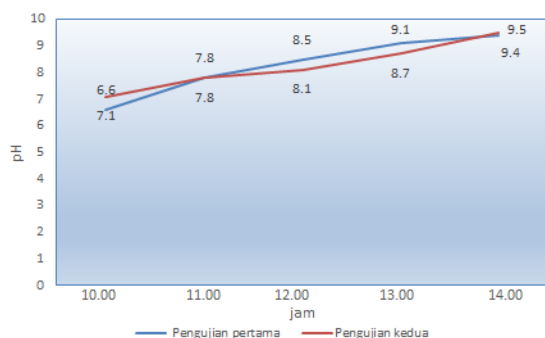
Tabel 2 Pengukuran pH dengan tegangan 100V

Jam	pH pengujian hari pertama		pH pengujian hari kedua	
	Asam	Basa	Asam	Basa
10.00	6,8	6,8	7,2	7,2
11.00	6,4	7,3	6,7	7,8
12.00	6,0	7,8	6,1	8,1
13.00	5,8	8,2	5,7	8,4
14.00	5,2	8,5	5,2	8,7

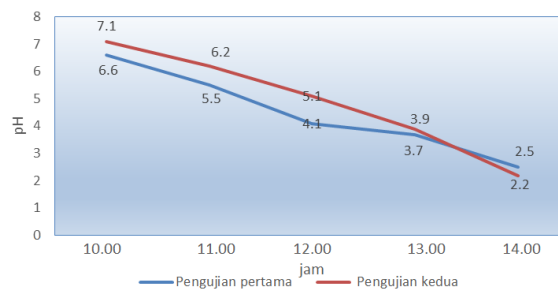
Tabel 3 Pengukuran pH dengan tegangan 150V

Jam	pH pengujian hari pertama		pH pengujian hari kedua	
	Asam	Basa	Asam	Basa
10.00	6,6	6,6	7,1	7,1
11.00	5,5	7,8	6,2	7,8
12.00	4,1	8,5	5,1	8,1
13.00	3,7	9,1	3,9	8,7
14.00	2,5	9,4	2,2	9,5

Gambar 4 dan **Gambar 5** menunjukkan Grafik perubahan pH di sisi katode dan anode dengan tegangan 150V dengan jarak elektrode 4 cm. Perubahan tiap jam hampir bersifat linier. Perubahan pH di sisi anode lebih besar dari pada perubahan di sisi katode, hal ini terjadi karena volume air di sisi anode lebih kecil, sehingga konsentrasinya menjadi lebih pekat.



Gambar 4 Grafik perubahan pH di sisi katode dengan tegangan 150VDC jarak elektrode 4 cm



Gambar 5 Grafik perubahan pH di sisi anode dengan tegangan 150V jarak elektrode 4 cm

Tabel 4 merupakan hasil pengukuran pH dan TDS Pada tegangan 150 V dan arus rata-rata 18,7 mA dengan perubahan jarak antar elektrode 4, 8, dan 12 cm selama 5 jam elektrolisis. Pada jarak 4 cm diperoleh perubahan pH di sisi anode sebesar 4,1 dan perubahan pH di sisi katode sebesar 2,5. Pada jarak 8 cm diperoleh perubahan pH di sisi anode sebesar 3,1 dan perubahan pH di sisi katode sebesar 2,4.

Pada jarak 12 cm diperoleh perubahan pH di sisi anode sebesar 3,2 dan perubahan pH di sisi katode sebesar 2,4. Tampak bahwa perubahan jarak elektrode tidak memberikan perubahan pH yang signifikan, walaupun secara umum makin dekat jaraknya makin cepat proses berlangsung.

Tabel 4 Perubahan jarak terhadap pH dan TDS Pada tegangan 150 V dan arus rata-rata 18,7 mA

Jam	Jarak (cm)	pH		TDS (Ppm)	
		A	B	A	B
10.00	4	6,6	6,6	336	336
	8	6,8	6,8	332	332
	12	6,8	6,8	332	332
11.00	4	5,5	7,8	378	312
	8	5,7	7,4	388	277
	12	5,8	7,5	377	289
12.00	4	4,1	8,5	441	274
	8	4,5	8,4	426	243
	12	4,9	8,2	428	265
13.00	4	3,7	9,1	467	241
	8	4,1	8,9	450	239
	12	4,1	8,7	459	241
14.00	4	2,5	9,4	490	232
	8	3,7	9,2	468	236
	12	3,6	9,2	472	224

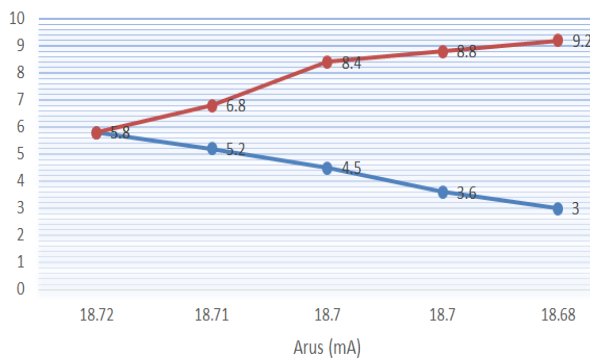
Keterangan

- a. A: Air asam
- b. B: Air basa

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran pH dan TDS pada tegangan 150 V, jarak elektrode 4 cm dengan dengan tiga batang pensil, satu lubang membran selama 5 jam. Diperoleh perubahan pH di sisi anode sebesar 2,8 dan perubahan pH di sisi katode sebesar 3,4.

Tabel 5 Nilai pH dan TDS dengan dengan tiga batang pensil

Jam	Arus (mA)	pH		TDS(ppm)	
		A	B	A	B
10.00	18,72	5,8	5,8	332	332
11.00	18,71	5,2	6,8	373	289
12.00	18,7	4,5	8,4	419	261
13.00	18,7	3,6	8,8	456	230
14.00	18,68	3	9,2	472	224



Gambar 6 Grafik perubahan pH di sisi anode dan katode dengan tegangan 150V jarak elektrode 4 cm

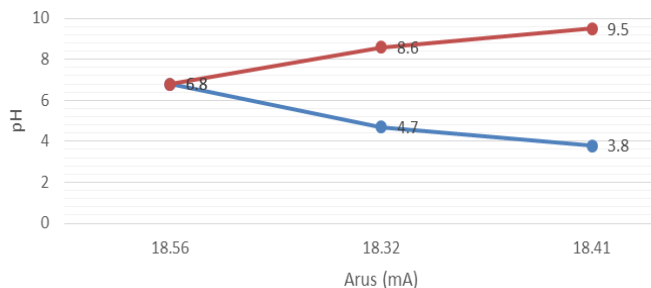
Tabel 6 Perubahan pH dan TDS tegangan 150 jarak elektrode 4 cm dengan dengan satu pasang pensil dengan tiga lubang membran, selama 3 jam. Diperoleh perubahan pH di sisi anode sebesar 2,8 dan perubahan pH di sisi katode sebesar 3,4. **Gambar 7** merupakan grafik nilai pH dan arus, di sisi anode dan katode dengan tegangan 150V, satu pasang dan jarak elektrode 4 cm dengan tiga lubang membran.

Tabel 6 Nilai pH dan TDS dengan tiga lubang membran

Jam	Arus (mA)	pH		TDS(ppm)	
		A	B	A	B
10.00	18,56	6,8	6,8	336	336
11.00	18,32	4,7	8,6	385	270

12.00	18,41	3,8	9,5	430	231
-------	-------	-----	-----	-----	-----

Tampak bahwa perubahan pH cukup signifikan, dalam waktu 3 jam pH air di sisi katode dapat mencapai 9,5.



Gambar 7 Grafik perubahan pH di sisi anode dan katode dengan tegangan 150V jarak elektrode 4 cm

SIMPULAN

Instrumen elektrolisis air mineral dengan sumber energi matahari dapat berfungsi dengan baik untuk menghasilkan air alkali dan air asam sekala kecil. Energi matahari yang diperoleh dari MSS dapat yang paling efisien pada jam 10.00 sampai jam 14.00 yaitu dengan tegangan rata-rata 20,3V lalu disimpan dalam baterai dan diubah dengan *converter* untuk mendapatkan tegangan dan arus yang lebih besar. Arus yang digunakan untuk elektrolisis air berkisar 18mA.

Dari pengujian yang menggunakan tegangan 100V dan 150V. Tegangan 150V dapat lebih cepat menaikkan dan menurunkan pH dari suatu elektrolisis air. Dari pengujian dengan perubahan jarak 4 cm, 8 cm, dan 12 cm tidak terlalu berpengaruh pada perubahan pH air. Dengan ditambahkan jumlah pasang elektrode dan penambahan membran dapat mempercepat proses elektrolisis air mineral yang cukup signifikan.

Dari nilai pH dan TDS yang diperoleh bahwa air mineral hasil elektrolisis di sisi anode bersifat asam tidak layak untuk diminum, sedang air mineral hasil elektrolisis di sisi katode bersifat basa, layak dikonsumsi sehari-hari karena masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan WHO dan permenkes NKRI.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kementerian Riset dan Teknologi dan Pendidikan Tinggi Indonesia, Kami juga menyampaikan rasa terima kasih kami kepada

Prof Ukun sebagai Ketua Program Pascasarjana Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Padjajaran, Doktor Bambang sebagai Dekan Fakultas Listrik Teknik Elektro (FTE), Universitas Telkom.

REFERENSI

- [1] Azrina A, Hock E. K, Aizat I, M. Razman. Evaluation of Minerals Content of Drinking Water in Malaysia, *The Scientific World Journal*. Pp 1-10, 2012.
- [2] Ashton J. J. B. C., & Geary. L.. The Effects of Temperature on pH Measurement, Technical Services Department, Reagecon Diagnostics Ltd, Shannon Free Zone, County Clare, *Ireland.TSP-01 Issue 2*. Pp 1-7, 2011
- [3] Klaus, J., Olindo I., Arno, H.M.S., René, A.C.M.M., Miro, Z. *Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems*. First Edition. Copyright Delft University of Technology. Delft, 2014.
- [4] Alfian, S., Nahwa, A., Hardian. Perbandingan Kadar Natrium Serum Sebelum Dan Setelah Pemberian Air Alkali Pada Kelompok Dengan Latihan Fisik, *Jurnal Kedokteran Diponegoro, JKD*, Vol. 6, No. 2, April : 215-225, 2017.
- [5] Mazloomi, K., Sulaiman, N.B., Hossein, M. An Investigation into the Electrical Impedance of Water Electrolysis Cells With A View To Saving Energy, *International Journal Of Electrochemical Science, Int. J. Electrochem. Sci. No 7* 3466 – 3481, 2012.
- [6] Sitorus, T. B., Sebastian, O.. Analisis Efisiensi Elektrolisis Air dari Hydrofill pada Sel Bahan Bakar, *Jurnal Dinamis, Volume II*, No.12, ISSN 0216-7492, 2013
- [7] Subandi, Slamet. H. Korelasi Suhu dan Intensitas Cahaya terhadap Daya Pada Solar Cell, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Yogyakarta, ISSN: 1979-911X, C31-C40, 2014.
- [8] Shirahata S, Takeki, H. Kiichiro, T. Advanced research on the health benefit of reduced water, *Trends in Food Science & Technology*, 124-131, 2012.
- [9] Setyadi, A., Priyanggara, S. P. Rancang Bangun Alat Penghasil Air Alkali Sebagai Pengobatan Alternatif Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Go Infotech* Volume 21 No.2. STMIK AUB Surakarta, 2015.
- [10] Sulaiman M A, Mujahid A K. Water quality of bottled water in the kingdom of Saudi Arabia: A comparative study with Riyadh municipal and Zamzam water, 2011.
- [11] Isana, S. Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektrode Stainless Steel. Pros. Seminar Nasional. ISBN: 978-979-98117-7-6. Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA UNY, 2010.
- [12] Ruslan A H, Purwono, Wiharyanto. Elektroda Karbon Dengan Variasi Tegangan Listrik Dan Waktu Elektrolisis Dalam Penurunan Konsentrasi TSS Dan COD Pada Pengolahan Air Limbah Domestik, *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 6, No. 1, 2017.
- [13] Jumiaty, Joko S, Irfana D F. Pengaruh Konsentrasi Larutan Katalis dan Bentuk Elektroda dalam Proses Elektrolisis untuk Menghasilkan Gas Brown, *POSITRON- Vol. III*, No. 1, Hal. 06 - 11 ISSN: 2301-4970, 2013.
- [14] Kurniawan, E. Ramdhani, M. Manfaati, R., Deden, I. D, Angraini, A. Rahayu, I., Bahti, H.. Elektrolisis Untuk Produksi Air Alkali Dan Asam Dengan Sumber Energi Modul Sel Surya, Seminar Nasional Kimia UIN Sunan Gunung Djati Bandung, 2018.
- [15] M.R. Hidayat, "Desain Dan Implementasi Sistem Elektrolisis Air Dengan Sumber Energi Surya Menggunakan Catu Daya Inverter 1 Fasa, Tugas Akhir, FTE Universitas Telkom Bandung, 2019.

Parameter Aktivasi pada Proses Inhibisi Korosi Besi dalam Larutan NaCl 1% Menggunakan Polietilen Oksida (PEO)

TETY SUDIARTI,^{1*} ANGGI YULIAN SILVIYANADEWI²

¹Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung

* alamat email korespondensi: tety.sudiarti@uinsgd.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: Polietilen oksida; Inhibitor korosi; Parameter aktivasi; Energi Aktivasi.</p> <p>Keywords: polyethylene oxide; Corrosion Inhibitor; Activation parameter; Activation Energy.</p>	<p>Korosi pada sistem perpipaan adalah masalah yang serius. Hal ini dikarenakan banyak kerugian yg diakibatkannya. Sebagai contoh dalam industri pertambangan, logam besi banyak digunakan sebagai pipa untuk pengalir minyak yang masih bercampur dengan asam- asam organik yang jika bercampur dengan air akan menjadi media yang korosif pada bagian dalam pipa, sehingga diperlukan cara yang tepat, murah dan efektif untuk menghambat terjadinya korosi tersebut. Inhibitor merupakan teknik pengendalian korosi yang paling murah, mudah, efektif, dan ramah lingkungan sehingga banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang industri. Polimer saat ini telah banyak digunakan sebagai inhibitor korosi, akan tetapi studi tentang polietilen oksida (PEO) sebagai inhibitor korosi masih sangat sedikit. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui parameter aktivasi pada proses inhibisi korosi besi dalam larutan NaCl 1% menggunakan polietilen oksida (PEO). Hasil perhitungan parameter aktivasi untuk inhibitor korosi polietilen oksida (PEO) diperoleh nilai E_a sebesar 27,042 kJ/mol, ΔH_a sebesar 22,853 kJ/mol, dan ΔS_a sebesar -0,1545 kJ/mol.K. Harga E_a menunjukkan adanya rintangan energi yang dapat menghambat terjadinya proses korosi. Nilai ΔH_a yang positif menunjukkan bahwa dengan adanya inhibitor polietilen oksida (PEO) maka proses korosi semakin sulit karena memerlukan energi yang besar, nilai ΔS_a yang negatif menunjukkan dengan adanya inhibitor korosi polietilen oksida maka terjadi keteraturan sistem yang dapat menghambat terjadinya korosi.</p> <p><i>Corrosion in the piping system is a serious problem. This is because a lot of losses caused. For example in the mining industry, ferrous metal is widely used as a pipe for the flow of oil which is still mixed with organic acids which, when mixed with water will become a corrosive media on the inside of the pipe, so we need an appropriate, inexpensive and effective way to prevent the occurrence the corrosion. Inhibitors are the most inexpensive, easy, effective and environmentally friendly corrosion control technique so that they are widely applied in various industrial fields. Polymers are now widely used as corrosion inhibitors, but studies on polyethylene oxide (PEO) as corrosion inhibitors are still very few. The purpose of this study was to determine the activation parameters in the process of inhibition of iron corrosion in 1% NaCl solution using polyethylene oxide (PEO). The results of the activation parameter calculation for polyethylene oxide (PEO) corrosion inhibitors obtained an E_a value of 27.042 kJ / mol, ΔH_a of 22.853 kJ / mol, and ΔS_a of -0.1545 kJ / mol.K. The price of E_a shows that there are energy barriers which can inhibit the corrosion process. A positive ΔH_a value indicates that with the presence of polyethylene oxide (PEO) inhibitors, the corrosion process is increasingly difficult because it requires a large amount of energy, a negative ΔS_a value indicates the presence of a polyethylene oxide corrosion inhibitor, so there is a regularity of the system that can inhibit corrosion.</i></p>

PENDAHULUAN

Terjadinya peristiwa korosi pada pipa di industri pertambangan minyak bumi dapat mengakibatkan berkurangnya nilai material secara teknis, penurunan kualitas dari material, dan akan menyebabkan berkurangnya umur

pakai dari material tersebut [1]. Pada industri pertambangan minyak bumi, pipa yang terbuat dari baja karbon (90% besi) digunakan untuk sistem distribusi minyak mentah dari ladang pengeboran menuju kilang pemrosesan. Minyak mentah yang dihasilkan biasanya masih bercampur dengan garam-garam (garam klorida,

sulfat, dan karbonat), asam-asam organik dengan massa molekul rendah (asam format), serta gas yang bersifat asam (gas CO₂ dan H₂S). Adanya partikulat seperti garam, asam organik, dan gas yang bersifat asam ini dapat menjadi media yang sangat korosif terhadap bagian dalam pipa jika bereaksi dengan air.

Untuk menghambat laju korosi pada permukaan luar pipa di industri pertambangan minyak bumi dengan bahan besi dapat dilakukan dengan pelapisan dan perlindungan katodik. Namun, untuk menghambat laju korosi pada permukaan bagian dalam pipa hanya dapat dilakukan dengan penambahan inhibitor korosi. Inhibitor korosi umumnya dikelompokkan menjadi dua, yaitu inhibitor anorganik dan inhibitor organik. Senyawa anorganik yang biasanya digunakan sebagai inhibitor ialah fosfat, kromat, dan silikat. Inhibitor anorganik memiliki inhibisi yang baik terhadap laju korosi. Namun, penggunaan senyawa anorganik sebagai inhibitor korosi memiliki pengaruh yang buruk bagi kesehatan dan lingkungan karena adanya toksisitas yang tinggi yang dimiliki oleh senyawa anorganik tersebut. Sedangkan, senyawa organik yang biasanya digunakan sebagai inhibitor korosi ialah senyawa yang mengandung satu atau lebih atom nitrogen, oksigen, sulfur, fosfor, dan ikatan rangkap atau cincin aromatik pada molekulnya, serta gugus amina dan karboksilat, di mana senyawa ini dapat teradsorpsi dengan baik pada permukaan logam serta merupakan bahan yang relatif murah dan ramah lingkungan [1].

Polietilen oksida merupakan polimer dengan rumus struktur HOCH₂-(CH₂-O-CH₂)_n-CH₂OH, yang merupakan senyawa yang berantai panjang. Polietilen oksida ini merupakan senyawa polimer yang memiliki unsur oksigen berelektron bebas, memiliki stabilitas elektrokimia tinggi sehingga dapat teradsorpsi kuat pada permukaan logam, dengan demikian PEO memiliki potensi sebagai inhibitor korosi pada logam. Polietilen oksida merupakan senyawa polimer sintetis yang dapat larut dalam air atau bersifat hidrofilik, semi kristalin dan tidak toksik [2,3,4]. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui parameter aktivasi pada proses inhibisi korosi besi dalam larutan NaCl 1% menggunakan polietilen oksida (PEO).

EKSPERIMEN

Material

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Polietilen oksida (PEO), Natrium klorida (NaCl) (pa Merck), etanol (C₂H₅OH) 96%, akua dm, aseton teknis logam besi, kertas amplas silikon karbida 600 dan 1000 grit.

Alat-alat

Alat-alat yang digunakan alat-alat gelas, termometer, hotplate, jangka sorong, Oven, tali benang kasur.

Prosedur

Studi aktivitas inhibisi korosi pada Polietilen Oksida (PEO) untuk logam besi dalam larutan elektrolit secara umum dilakukan melalui lima tahap. Tahap pertama yaitu pembuatan larutan inhibitor PEO. Tahap kedua yaitu pembuatan larutan NaCl 1%. Tahap ketiga yaitu preparasi sampel logam besi. Tahap keempat yaitu pengukuran laju korosi dan efisiensi inhibisi PEO pada logam besi dalam media larutan NaCl 1% dengan menggunakan metode *wheel test* [5,6,7] dengan variasi suhu dan konsentrasi. Tahap kelima yaitu penentuan parameter aktivasi.

Untuk menghitung parameter aktivasi pada proses korosi pada rentang suhu 25°C sampai 55 °C, digunakan Persamaan Arrhenius (1) dan Persamaan transisinya (2),

$$r = k \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

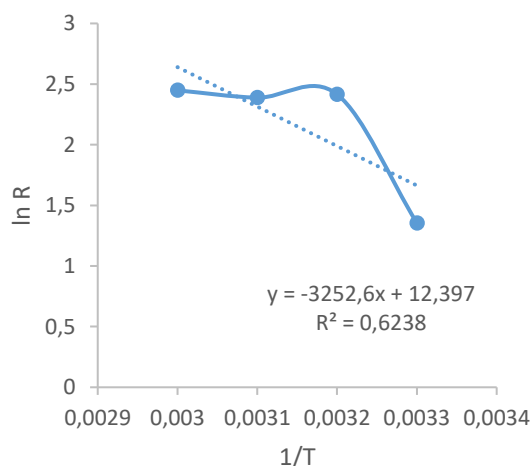
$$r = \frac{RT}{Nh} \exp\left(\frac{\Delta S_a}{R}\right) \exp\left(\frac{-\Delta H_a}{RT}\right) \quad (2)$$

dimana k adalah faktor pra-eksponensial Arrhenius, T suhu mutlak, E_a energi aktivasi korosi pada proses korosi, ΔH_a entalpi aktivasi, ΔS_a entropi aktivasi, N bilangan Avogadro, h tetapan Planck dan r adalah kecepatan reaksi pelarutan logam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Energi Aktivasi (E_a)

Gambar 1. memperlihatkan aluran $\ln R$ (laju korosi) terhadap $1/T$, harga energi aktivasi dihitung dari kemiringan garis yang bernilai $-E_a/R$. Dan diperoleh nilai E_a sebesar 27,042 kJ/mol.



Gambar 1 Kurva Penentuan Energi Aktivasi

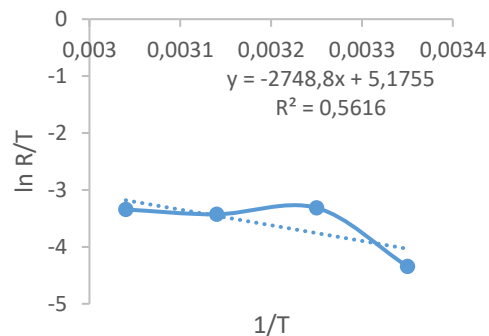
Harga energi aktivasi diperoleh harga $E_a < 45$ kJ/mol yang dapat diindikasikan bahwa laju korosi pada rentang suhu 25 °C sampai 55 °C tersebut dikendalikan oleh proses difusi ionik dalam air [8].

Meningkatnya harga E_a dengan adanya inhibitor, dapat diinterpretasikan sebagai adsorpsi fisik inhibitor yang terjadi pada permukaan besi [9]. Disamping itu harga E_a yang semakin besar menunjukkan adanya rintangan energi yang semakin besar yang menghambat reaksi oksidasi, yaitu proses korosi. Dari Persamaan Arrhenius (1) menunjukkan bahwa laju korosi berbanding terbalik dengan eksponensial E_a , hal ini berarti semakin besar harga E_a maka laju korosi semakin kecil.

Besarnya nilai energi aktivasi menunjukkan bahwa dengan adanya inhibitor korosi PEO maka proses korosi semakin sulit terjadi karena membutuhkan energi aktivasi yang besar.

Analisis Nilai ΔH_a dan ΔS_a

Nilai entalpi dan entropi diperoleh dari hubungan $1/T$ dengan $\ln R/T$ yang ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2 Kurva Penentuan ΔH_a dan ΔS_a

Diperoleh suatu garis lurus dengan kemiringan ($-\Delta H_a/R$) dan titik potong ($\ln(R/Nh) + \Delta S_a/R$) sehingga nilai ΔH_a dan ΔS_a dapat dihitung.

Hasil perhitungan menghasilkan nilai ΔH_a sebesar 22,853 kJ/mol, dan ΔS_a sebesar -0,1545 kJ/mol.K. Nilai ΔH_a yang positif menunjukkan bahwa dengan adanya inhibitor polietilen oksida (PEO) maka proses korosi semakin sulit karena memerlukan energi yang besar, nilai ΔS_a yang negatif menunjukkan dengan adanya inhibitor korosi polietilen oksida maka terjadi keteraturan sistem yang dapat menghambat terjadinya korosi.

Hal ini mengindikasikan adanya proses penggantian posisi molekul air oleh inhibitor pada permukaan besi selama adsorpsi berlangsung [10]. Ini berarti proses korosi yang terjadi dihambat lajunya oleh adanya inhibitor.

SIMPULAN

Hasil perhitungan parameter aktivasi untuk inhibitor korosi polietilen oksida (PEO) diperoleh nilai E_a sebesar 27,042 kJ/mol, ΔH_a sebesar 22,853 kJ/mol, dan ΔS_a sebesar -0,1545 kJ/mol.K. Harga E_a menunjukkan adanya rintangan energi yang dapat menghambat terjadinya proses korosi. Nilai ΔH_a yang positif menunjukkan bahwa dengan adanya inhibitor polietilen oksida (PEO) maka proses korosi semakin sulit karena memerlukan energi yang besar, nilai ΔS_a yang negatif menunjukkan dengan adanya inhibitor korosi polietilen oksida maka terjadi keteraturan sistem yang dapat menghambat terjadinya korosi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan pada Kepala Laboratorium Integrasi khususnya Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan

Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Ketis, N. K., Wahyuningrum, D., Achmad, S., dan Bundjali, B., (2010): "Efektivitas Asam Glutamat sebagai Inhibitor Korosi pada Baja Karbon dalam Larutan NaCl 1%," *Jurnal Matematika dan Sains*, vol.15,pp. 1-8.
- [2] Sajid, M., Akash, H., dan K., (2015): "Natural and Synthetic Polymers as Drug Carriers," *Polymer Review*, pp. 1-36, 30
- [3] Pang, P dan Englezos, P.,, (2001): "Kinetics of the aggregation of polyethylene oxide at," *Physicochemical and Engineering*, vol. 204, pp. 23-29.
- [4] Koduru, H.K., Iliev, M.T., Kondamarredy, K.K., Karashanova,D., Vlakhov, T., Zhao, X.Z., dan Scaramuzza,N., (2016): "Investigations on Poly (ethylene oxide) (PEO) – blend based," *journal of physics*, vol. 764, pp. 1-9.
- [5] NACE International Task Group T-1D-34, (1996): "Laboratory Test Method for Evaluating Oilfield Corrosion Inhibitors," in NACE International Publication, Texas.
- [6] Hasan, K. H., Khadom, A. A., dan Kurshed, N. H., (2016): "Citrus aurantium Leaves Extracts as a Sustainable Corrosion Inhibitor of Mild Steel in Sulfuric Acid," *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, pp.1-5.
- [7] Khatak, H. S. dan Raj, B., (2002): *Corrosion of Austenitic Stainless Steels: Mechanism, Mitigation, and Monitoring*. Kalpakkam, India: Alpha Science International Ltd.1-13..
- [8] West, J.M., (1980), *Basic Corrosion and Oxidation*, Second Edition, Ellis Horwood Limited.
- [9] Bentiss, F., Bouanis, M., Mernari, B., Traisnel, M., Vezin, H., Lagrene, M.,(2007), Understanding the adsorption of 4H-1,2,4-triazole derivatives on mild steel surface in molar hydrochloric acid, *Applied Surface Sci*, 253 ,3696-3704.
- [10] Wahyuningrum, D., (2008), *Sintesis Senyawa Turunan Imidazol dan Penentuan Aktivitas Inhibisi Korosinya pada Permukaan Baja Karbon*, Disertasi, ITB.

Pemanfaatan Seledri (*Apium graveolens* Linn) sebagai Biosorben untuk Ion Logam Pb(II)

CITA RACHMI ANDINI,¹ VINA AMALIA,² DAN EKO PRABOWO HADISANTOSO³

¹Jurnal Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Jl. A. H. Nasution No. 105 Cipadung 40614

* alamat email korespondensi: vinaamalia@uinsgd.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci : Biosorben seledri; adsorpsi; ion logam Pb(II); isotherm adsorpsi</p>	<p>Pb(II) merupakan logam berat yang paling umum ditemukan dalam perairan yang beracun bagi manusia dan lingkungan bahkan pada konsentrasi rendah. Oleh sebab itu, pemisahan logam berat dalam perairan mulai menarik perhatian khusus. Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk menghilangkan logam berat di perairan, salah satunya adalah dengan adsorpsi. Belakangan ini, adsorben yang berasal dari bahan alam mulai menarik perhatian karena memiliki kinerja adsorpsi yang baik serta biaya yang rendah. Adsorben yang berasal dari bahan alam ini disebut dengan biosorben. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efektivitas seledri sebagai biosorben dengan variasi perbedaan massa, waktu kontak, konsentrasi ion logam Pb(II), dan pH. Biosorben dibuat dari seledri dengan cara dicuci menggunakan HCl 0,1 M kemudian dinetralkan menggunakan akua DM. Residu kemudian dikeringkan di dalam oven dan kemudian dihaluskan. Adsorpsi ion logam Pb(II) dilakukan dengan menggunakan metode <i>batch</i>. Biosorben yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM. Dari penelitian ini diketahui bahwa efisiensi penyerapan ion logam Pb(II) mencapai 78,74% dengan dosis 0,1 g/50 mL selama 1 jam pada pH optimum 5 dengan konsentrasi ion logam Pb(II) 25 ppm. Mekanisme adsorpsi Pb(II) oleh biosorben seledri cocok dengan isotherm Freundlich.</p>
<p>Keywords: <i>celery biosorbent; adsorption; Pb(II); adsorption isotherm</i></p>	<p><i>Pb(II) is the most common pollutants found in waters and is significantly toxic to human beings and ecological environments even at low concentrations. Therefore, cheaper metal removal from aqueous methodes solutions has recently been sought out. There are several methods to remove heavy metals in water, one of these methodes is adsorption. Lately, adsorbent from natural origin have gained important credibility because of their good performance and low cost from these complex materials. Adsorbent from natural origin are called biosobent. The aims of this study were to examine the effectiveness of celery as biosorbent by variation of difference mass, contact time, Pb(II) concentration, and pH. Biosorbents prepared from celery, celery was dried and then the dried celery was converted to very small pieces and soaked with HCl 0,1. Later, the output was until neutralized. Then this celery residue was dried again and then the biosorbent was powdered in a mixer grinder. Biosorbent from celery was utilized as a low-cost adsorbent for elimination of Pb(II) cationic from aqueous solution in batch adsorption process. The biosorbent was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The maximum biosorption of Pb(II) was found to be more than 78,74% with 0,1 g/50 mL, 1 hour contact time, optimum pH of 5 at Pb(II) concentration of 25 ppm. The equilibrium adsorption capacity of celery was found to fit well with the Freundlich isotherm.</i></p>

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan terutama di perairan salah satunya disebabkan oleh pembuangan limbah yang mengandung bahan beracun dan berbahaya. Salah satu contoh dari bahan beracun dan berbahaya yang sering

mencemari lingkungan khususnya perairan adalah logam berat. Logam berat yang paling umum ditemukan dalam perairan dan secara signifikan beracun bagi manusia dan lingkungan bahkan pada konsentrasi rendah yaitu timbal. Timbal dalam air ditemukan dalam bentuk ion logam Pb(II) [1]. Ion logam Pb(II) memiliki kemampuan untuk berakumulasi dalam organisme hidup dan

menyebabkan gangguan fungsi organ-organ tubuh [2].

Banyak penelitian yang berkaitan mengenai metode penanganan ion logam Pb(II) dalam perairan, seperti adsorpsi, proses membran, koagulasi, flokulasi, oksidasi, degradasi fotokatalitik, ozonisasi, pertukaran ion, dan lain sebagainya [3]. Di antara metode penanganan ion logam Pb(II) dalam perairan ini, metode adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan metode adsorpsi merupakan metode dengan biaya yang rendah, desain yang sederhana, pengoperasian yang mudah, ketersediaan bahan sebagai adsorben, serta hasil penurunan ion logam Pb(II) dalam perairan yang efektif [4].

Seledri merupakan salah satu jenis tanaman yang berasal dari keluarga Apiaceae yang dikenal dengan nama ilmiah *Apium graveolens* Linn. Seledri sering dijumpai di Indonesia karena jumlahnya yang berlimpah. Sampai saat ini, seledri (*Apium graveolens* Linn) dikenal sebagai bahan pelengkap sayuran yang biasanya digunakan untuk memberikan wangi dan cita rasa yang khas pada makanan.

Beberapa tahun belakangan ini, adsorben yang berasal dari alam atau yang lebih dikenal dengan sebutan biosorben mendapatkan perhatian yang banyak karena memiliki kinerja yang baik dengan biaya rendah. Karena kapasitas adsorpsi yang tinggi dan sumber bahan baku yang sangat hemat biaya, adsorpsi dengan menggunakan biosorben dianggap menjadi metode yang efektif untuk mengurangi ion logam Pb(II) di perairan [5]. Meski demikian, keberhasilan adsorpsi juga dapat dipengaruhi beberapa faktor, seperti massa adsorben, waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat, konsentrasi, dan pH [2].

Penggunaan biosorben seledri pada proses adsorpsi ion logam Pb(II) ini guna menerapkan prinsip *Green Chemistry*. Beberapa prinsip dasar di antaranya prinsip sintesis kimia tanpa bahan toksik (*less hazardous chemical synthesis*), pencegahan limbah (*prevention*), dan pemakaian bahan baku yang dapat diperbaharui (*use of renewable feedstock*). Keberadaan tanaman keluarga Apiaceae, khususnya seledri yang melimpah dan terdistribusi hampir di seluruh Indonesia merupakan alasan mengapa seledri dijadikan sebagai biosorben. Hal ini juga disebabkan oleh adanya beberapa penelitian yang menjelaskan mengenai kegunaan tanaman dari keluarga Apiaceae, sebagai biosorben. Salah satunya adalah penggunaan tanaman keluarga

Apiaceae, yaitu peterseli, daun ketumbar, dan culantro untuk menangani ion logam Pb(II) dengan efisiensi sampai 97% [2]. Selain itu, ada juga penelitian mengenai penggunaan tanaman keluarga Apiaceae, yaitu seledri untuk menangani metilen biru di perairan [3].

EKSPERIMEN

Material

Seledri (*Apium graveolens* Linn), HCl 36% (Pudak), NaOH (Pudak), HNO₃ 63% (Merck®), dan Pb(NO₃)₂ (Merck®).

Instrumentasi

Untuk analisis kadar logam Pb(II) digunakan SSA (Spektrofotometri Serapan Atom) Agilent 200 Series AA. Untuk karakterisasi gugus fungsi dan morfologi dari biosorben digunakan *Fourier Transformation Infra Red* (FTIR) Prestige 21 Shimadzu dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL JCM 6000.

Prosedur

Seledri yang didapatkan dibuat menjadi biosorben melalui pencucian dan pengeringan kemudian biosorben seledri yang didapatkan di karakterisasi menggunakan FTIR dan SEM dan diuji kinerja pada ion logam Pb(II).

Preparasi Biosorben Seledri

Seledri dicuci lalu dikeringkan dalam oven pada temperatur 90 °C selama 24 jam, kemudian dihaluskan. Seledri halus selanjutnya dicuci dengan HCl 0,1 M selama 3 jam dan diaduk menggunakan pengaduk magnet. Sampel kemudian disaring dan dicuci sampai netral dengan akua DM dan dikeringkan dengan oven selama 12 jam pada suhu 60°C kemudian dihaluskan [3].

Karakterisasi Biosorben Seledri

Karakterisasi biosorben meliputi analisis gugus fungsi dan analisis struktur morfologis menggunakan FTIR dan SEM.

Optimasi Kinerja Biosorben

Optimasi kinerja biosorben seledri dilakukan dengan mode operasional *batch* skala laboratorium untuk menentukan nilai optimum dari massa biosorben seledri, waktu kontak, pH, dan konsentrasi ion logam Pb(II). Optimasi kinerja biosorben dilakukan dengan variasi massa biosorben seledri (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 g/50 mL), waktu kontak (15; 30; 45; 60; dan 75 menit),

konsentrasi awal ion logam Pb(II) (10; 25; 40; 55; 70; 85 dan 100 ppm), serta pH (3, 4, 5, 6, dan 7).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Biosorben Seledri

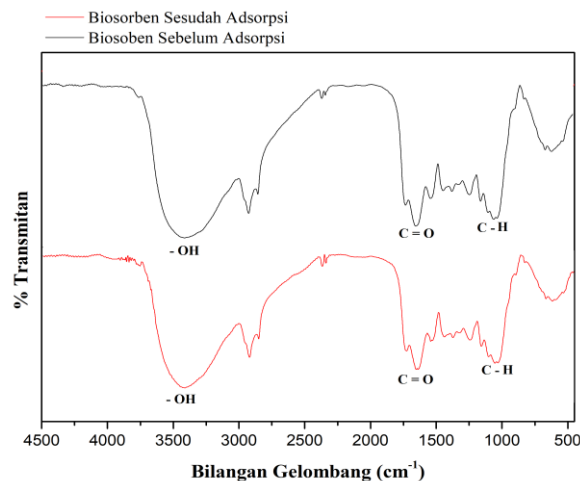
Seledri mengandung komponen organik yang cukup besar, seperti karbohidrat, protein, lipid, flavonoid, tanin, dan pigmen [6]. Oleh karena itu, sebagian dari komponen tersebut akan larut dalam air selama adsorpsi. Hal tersebut terlihat dari perubahan warna yang terjadi pada larutan setelah proses adsorpsi yang ditandai dengan adanya perubahan warna larutan menjadi hijau. Seledri ini digunakan karena mudah dijumpai dan jumlahnya melimpah, namun pemanfaatannya kurang optimum karena biasanya hanya digunakan sebagai pelengkap makanan. Selain itu, digunakannya seledri sebagai biosorben dikarenakan seledri merupakan tanaman Apiaceae yang diidentifikasi dapat mengadsorpsi logam berat di perairan [2]. Tetapi sebelum dipakai untuk penanganan ion logam Pb(II) dalam perairan, biosorben seledri ini terlebih dahulu dilakukan pencucian menggunakan HCl 0,1 M selama 3 jam menggunakan pengaduk magnet.

Pencucian dengan HCl 0,1 M dilakukan untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang terkandung dalam biosorben seledri [7]. Pencucian dengan larutan HCl 0,1 M ini juga mengakibatkan nilai zat warna klorofil yang terkandung di dalam seledri semakin kecil. Hal ini disebabkan zat warna klorofil dalam seledri larut dalam asam dikarenakan adanya pergeseran ion Mg^{2+} dalam klorofil oleh ion H^+ [3]. Setelah dilakukan pencucian, seledri disaring menggunakan kertas saring dan residunya dicuci menggunakan akua DM hingga netral. Setelah diperoleh residu yang netral, residu dipanaskan menggunakan oven pada suhu 60 °C selama 12 jam. Pemanasan menggunakan oven pada suhu 60 °C dilakukan agar tidak terjadi kerusakan pada kandungan kimia di dalam seledri yang disebabkan oleh suhu yang tinggi [3]. Lalu biosorben dihaluskan dengan lumpang alu.

Karakterisasi FTIR

Hasil dari karakterisasi FTIR biosorben seledri menunjukkan gugus aktif yang terindikasi dalam biosorben seledri yaitu gugus -OH pada daerah serapan 3300 – 3500 cm^{-1} yang ditandai dengan adanya puncak pada bilangan gelombang 3410,15 cm^{-1} . Adapun, hasil karakterisasi FTIR biosorben seledri dapat dilihat pada **Gambar 1**

Hasil FTIR mengungkapkan bahwa terdapat berbagai macam gugus fungsi pada permukaan biosorben. Keberadaan peregangan OH pada daerah serapan bilangan gelombang 3410,15 cm^{-1} mengacu pada keberadaan gugus hidroksil seperti pada selulosa, lignin, dan pektin [8].



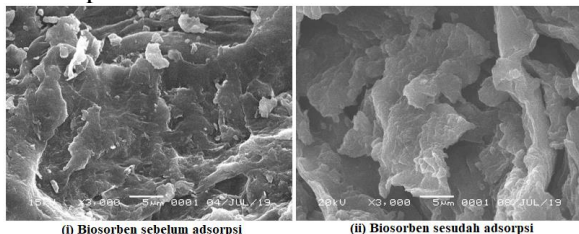
Gambar 1 Hasil Karakterisasi FTIR Biosorben Seledri

Dari hasil spektrum FTIR pada **Gambar 1** dapat diketahui bahwa pita eksplisit berada dalam kisaran bilangan gelombang 3300-1000 cm^{-1} . Dari hasil spektrum FTIR biosorben seledri ini, maka dapat disimpulkan gugus fungsi utama yang terdapat dalam biosorben seledri yaitu gugus C-H (alkana) yang teridentifikasi pada panjang gelombang 1377,17 cm^{-1} dan 1444,68 cm^{-1} , gugus -OH (hidroksil) yang teridentifikasi pada panjang gelombang 3410,15 cm^{-1} , dan gugus C=O (karbonil) yang teridentifikasi pada panjang gelombang 1730,15 cm^{-1} . Kelompok gugus fungsi yang mengandung oksigen umumnya dianggap bertanggung jawab atas terjadinya mekanisme adsorpsi ion logam berat. Oleh karena itu, beberapa pita yang berhubungan dengan fenol dan hidroksil inilah yang diidentifikasi dapat membantu efisiensi adsorpsi ion logam Pb(II). Karakterisasi FTIR ini dilakukan pada biosorben seledri sebelum dan sesudah dilakukan adsorpsi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses adsorpsi terhadap gugus fungsi dari biosorben seledri.

Karakterisasi FTIR

Berdasarkan hasil karakterisasi yang didapatkan bahwa bentuk permukaan biosorben seledri memiliki permukaan yang kasar dengan rongga tidak beraturan. Bentuk permukaan berongga inilah yang dapat menjadi tempat terjadinya mekanisme adsorpsi. Dengan adanya

permukaan berongga ini maka ion logam Pb(II) dalam larutan akan teradsorpsi oleh biosorben yang kemudian akan menyebabkan interaksi antara adsorbat dengan biosorben. Interaksi ini terjadi karena ion logam Pb(II) akan memenuhi permukaan biosorben dan mengisi rongga yang kosong. Gambar permukaan dari biosorben seledri sebelum dan sesudah terjadinya adsorpsi dapat dilihat pada **Gambar 2**.

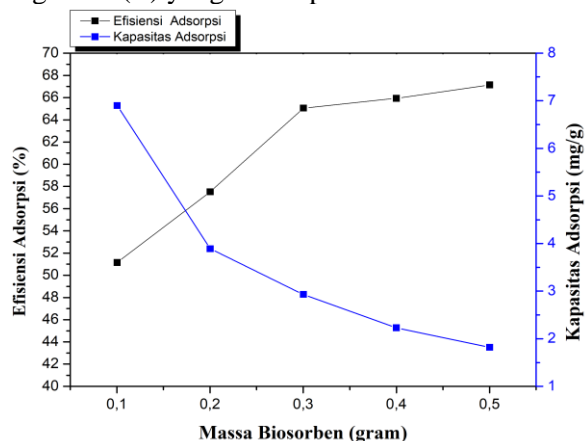


Gambar 2 Hasil Karakterisasi SEM Biosorben Seledri

Dari **Gambar 2** diketahui bahwa proses adsorpsi mempengaruhi bentuk permukaan biosorben seledri yang menunjukkan adanya perubahan struktur permukaan biosorben seledri sebelum dan sesudah adsorpsi. Bentuk permukaan biosorben seledri setelah adsorpsi menunjukkan bentuk permukaan dengan alur yang heterogen dan lebih beraturan dibandingkan dengan biosorben seledri sebelum adsorpsi. Bentuk permukaan biosorben seledri sesudah adsorpsi menampilkan adanya pengembangan pada permukaan biosorben yang menunjukkan bahwa telah terjadinya adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biosorben seledri.

Optimasi Massa Biosorben Seledri

Optimasi massa biosorben seledri dilakukan untuk mengetahui pada jumlah massa berapa biosorben dapat mengadsorpsi ion logam Pb(II) dalam cairan dengan optimum. Dilihat pada **Gambar 3**, diketahui terjadi kenaikan efisiensi adsorpsi yang disebabkan oleh banyaknya ion logam Pb(II) yang terserap oleh biosorben seledri.

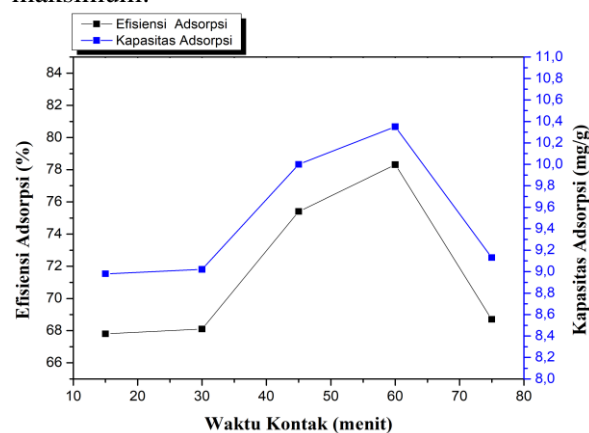


Gambar 3 Grafik Optimasi Massa Biosorben

Menurut teori, semakin banyak massa biosorben yang digunakan maka efisiensi adsorpsi ion logam Pb(II) akan semakin besar. Hal ini dikarenakan jika semakin banyak jumlah biosorben yang digunakan saat adsorpsi maka semakin banyak juga ion logam Pb(II) yang terserap. Dari **Gambar 3**, diketahui bahwa efisiensi adsorpsi semakin besar seiring dengan semakin banyaknya biosorben yang digunakan. Namun, hal ini berbanding terbalik dengan nilai kapasitas adsorpsinya, yaitu semakin banyak biosorben seledri yang digunakan maka semakin kecil kapasitas adsorpsi dari biosorben seledri. Penurunan kapasitas adsorpsi ini dapat terjadi karena jumlah biosorben yang digunakan semakin banyak [9].

Optimasi Waktu Kontak Biosorben Seledri

Optimasi waktu kontak bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh biosorben seledri untuk menyerap ion logam Pb(II) dalam larutan secara optimum. Dari **Gambar 4** diketahui terjadi kenaikan pada proses adsorpsi ion logam Pb(II) waktu kontak 15 sampai 60 menit, namun terjadi penurunan yang drastis pada waktu kontak 75 menit. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak yang digunakan untuk mengadsorpsi adsorbat maka akan semakin banyak juga adsorbat yang teradsorpsi. Akan tetapi adsorbat yang teradsorpsi dalam biosorben akan jenuh apabila telah mencapai nilai batas atau mencapai keadaan optimum. Hal ini disebabkan oleh pori-pori yang terdapat pada permukaan biosorben seledri telah penuh dengan adsorbat atau mencapai batas maksimum.



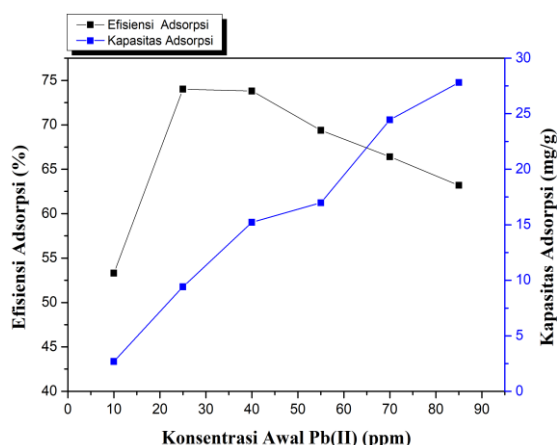
Gambar 4 Grafik Optimasi Waktu Kontak Biosorben

Dari **Gambar 4** diketahui bahwa waktu kontak biosorben seledri dengan ion logam Pb(II)

dalam larutan mempengaruhi efisiensi adsorpsi ion logam Pb(II). Semakin lama waktu yang digunakan, maka semakin besar ion logam Pb(II) yang terserap oleh biosorben seledri. Waktu optimum pada adsorpsi ion logam Pb(II) terjadi selama 60 menit dengan efisiensi adsorpsi ion logam Pb(II) sebesar 78,31%. Kemudian terjadi penurunan efisiensi adsorpsi ion logam Pb(II) pada waktu kontak 75 menit. Penurunan kapasitas adsorpsi ini dapat terjadi karena adanya proses desorpsi, yaitu pelepasan ion-ion logam Pb(II) yang sudah terserap oleh biosorben dan membentuk Pb bebas dalam larutan. Desorpsi ini terjadi akibat permukaan biosorben yang sudah jenuh oleh adsorbat. Dapat dilihat pada **Gambar 4** setelah pada waktu kontak 60 menit, efisiensi dan kapasitas adsorpsi mengalami penurunan. Efisiensi dan kapasitas adsorpsi pada waktu kontak optimum 60 menit ini berturut-turut sebesar 78,31% dan 8,98 mg/g, maka pengguna waktu kontak yang digunakan pada adsorpsi ion logam Pb(II) ini yaitu selama 60 menit.

Optimasi Konsentrasi Ion Logam Pb(II)

Optimasi konsentrasi ion logam Pb(II) bertujuan untuk mengetahui pada konsentrasi ion Pb(II) berapa mekanisme adsorpsi berlangsung secara optimum. Dari **Gambar 5**, terlihat bahwa efisiensi adsorpsi optimum terjadi pada konsentrasi 25 ppm. Pada konsentrasi 40 sampai 85 ppm mengalami penurunan yaitu dari 73,01% sampai 63,19%. Kondisi optimum ini ditandai dengan kenaikan dari 10 ppm ke 25 ppm kemudian terjadi penurunan saat konsentrasi 40 sampai 85 ppm.



Gambar 5 Grafik Optimasi Konsentrasi Ion Logam Pb(II)

Penurunan efisiensi adsorpsi disebabkan karena pada konsentrasi yang lebih tinggi, jumlah ion logam dalam larutan tidak sebanding dengan

jumlah partikel biosorben yang tersedia, sehingga permukaan biosorben akan mencapai titik jenuh dan menyebabkan efisiensi adsorpsi pun menjadi menurun karena adanya proses desorpsi. Pada kondisi kesetimbangan adsorpsi, permukaan biosorben seledri telah dipenuhi oleh adsorbat sehingga tidak mampu lagi menyerap ion logam Pb(II). Berdasarkan teori Langmuir, diketahui bahwa pada permukaan biosorben terdapat sisi aktif yang jumlahnya sebanding dengan luas permukaan biosorben, sehingga sisi aktif pada biosorben telah jenuh oleh ion logam, maka penambahan konsentrasi tidak lagi dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dari biosorben tersebut [10].

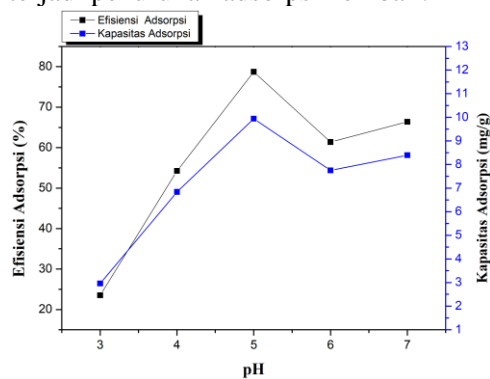
Dari **Gambar 5** dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi terus meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan ion logam Pb(II). Kapasitas adsorpsi sebesar 2,69 mg/g sampai 27,81 mg/g. Hal ini dikarenakan apabila konsentrasi ion logam Pb(II) tinggi maka ion logam Pb(II) yang ditampung oleh biosorben akan semakin banyak. Semakin tinggi konsentrasi adsorbat menandakan semakin banyak molekul dalam setiap satuan luas ruangan dengan demikian tumbukan antar molekul akan semakin sering terjadi.

Optimasi pH

Optimasi pH dilakukan untuk mengetahui pada pH berapa biosorben dapat mengadsorpsi ion logam Pb(II) dalam cairan dengan optimum. Nilai pH sangat mempengaruhi proses adsorpsi, hal ini dikarenakan pH dapat mempengaruhi gugus-gugus fungsional dari dinding biosorben yang memiliki peran aktif dalam proses adsorpsi logam berat. Selain itu, pH juga berpengaruh pada kelarutan ion logam di dalam larutan [11]. Optimasi pH larutan ion logam Pb(II) dilakukan pada 5 titik, yaitu pH 3, 4, 5, 6 dan 7. Optimasi pH ini dilakukan di pH asam sampai pH netral. Hal ini dikarenakan umumnya perairan memiliki sifat asam, selain itu ion logam Pb(II) di pH basa akan mengendap menjadi $Pb(OH)_2$ [12]. Dari hasil perhitungan dan **Gambar 6**, diketahui bahwa efisiensi adsorpsi pH optimum dihasilkan pada pH 5 yaitu sebesar 78,74%.

Pada pH basa, ion-ion logam Pb(II) dapat membentuk endapan hidroksida sehingga mekanisme adsorpsi dan efisiensi adsorpsi ion logam Pb(II) dengan menggunakan biosorben seledri sukar untuk ditentukan [13]. Berdasarkan **Gambar 6**, kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II) meningkat seiring dengan meningkatnya pH

sampai mencapai pH optimum dan kemudian terjadi penurunan adsorpsi kembali.

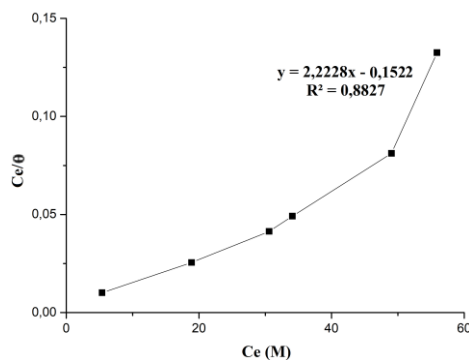


Gambar 6 Grafik Optimasi pH

Pada larutan pH asam terutama di bawah pH 3, adsorpsi sangat rendah. Kemampuan biosorben seledri untuk mengadsorpsi larutan ion logam Pb(II) juga semakin berkurang ketika pH diatas 5. Hal ini dikarenakan pada pH netral ion logam dapat terhidrolisis dalam larutan sehingga ion logam menjadi tidak stabil dan menyebabkan kemampuan adsorben untuk menyerapnya menurun. Kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II) paling besar diperoleh pada pH 5 sebesar 9,94 mg/g.

Analisis Isoterm Langmuir

Suatu mekanisme adsorpsi digambarkan melalui suatu hubungan antara jumlah adsorbat yang terserap per satuan massa adsorben dengan konsentrasi kesetimbangan. Model isoterm adsorpsi Langmuir mengasumsikan bahwa pada permukaan adsorben, adsorbat menempati sisi aktif yang homogen. Isoterm Langmuir menjelaskan bahwa permukaan penyerapan terdapat sejumlah tertentu situs aktif pada biosorben seledri yang sebanding dengan luas permukaan penyerap [10].



Gambar 7 Grafik Isoterm Langmuir

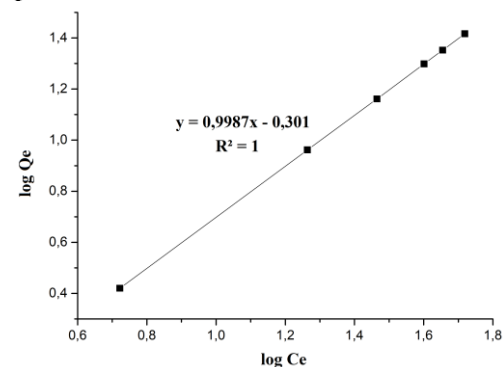
Pada setiap siklus aktif hanya satu molekul saja yang dapat diserap, sehingga dengan semakin besarnya konsentrasi adsorbat yaitu larutan ion

logam Pb(II) yang berinteraksi dengan biosorben yang beratnya tetap akan menghasilkan serapan ion logam Pb(II) yang meningkat secara linear sampai konsentrasi tertentu, karena siklus aktif telah jenuh dengan adsorbat [10].

Berdasarkan grafik linearitas isoterm adsorpsi Langmuir pada mekanisme adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biosorben seledri yang dapat dilihat pada **Gambar 7**, diketahui grafik dan nilai linieritas model isoterm langmuir yaitu $R^2 = 0,8827$. Isoterm langmuir menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi awal diikuti dengan meningkatnya jumlah zat yang teradsorpsi sehingga terjadi kesetimbangan. Adsorpsi langmuir berasumsi bahwa pada permukaan adsorben terdapat gugus aktif yang sebanding dengan luas adsorben. Pada keadaan sisi aktif belum jenuh dengan adsorbat maka peningkatan konsentrasi adsorbat yang dipaparkan meningkat secara linier dengan jumlah adsorbat yang teradsorpsi [14].

Analisis Isoterm Freundlich

Adsorpsi ion logam Pb(II) menggunakan biosorben seledri juga dianalisis dengan menggunakan model isoterm adsorpsi Freundlich. Model isoterm adsorpsi Freundlich mengasumsikan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen dengan distribusi energi adsorpsi yang tidak seragam pada seluruh bagian permukaan adsorben [10].



Gambar 8 Grafik Isoterm Freundlich

Berdasarkan **Gambar 8**, diketahui bahwa grafik isoterm Freundlich merupakan grafik hubungan antara log Ce dan log Qe, dimana log Ce adalah log konsentrasi setelah setimbang dan log Qe adalah log massa adsorbat yang diserap per gram biosorben. Dari grafik yang diperoleh dapat dilihat bahwa hasil analisis regresi linier (R^2) pada isoterm Freundlich adalah 1.

Berdasarkan perbandingan dari model isoterm Langmuir dan Freundlich, model isoterm

Freundlich merupakan model isoterm yang cocok dengan mekanisme adsorpsi ion logam Pb(II) dengan menggunakan biosorben seledri karena nilai $R^2 = 1$. Dengan demikian, berdasarkan hasil diketahui adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat dengan mengasumsikan bahwa tempat adsorpsi bersifat heterogen [14].

SIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR dan SEM, biosorben seledri memiliki 3 gugus fungsi utama, yaitu gugus alkana, gugus hidroksil dan gugus karbonil dan memiliki permukaan yang kasar dengan rongga tak beraturan. Efisiensi penyerapan ion logam Pb(II) mencapai 78,74% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 9,94 mg/g menggunakan dosis 0,1 g/50 mL dengan waktu kontak selama 1 jam, pH optimum 5, pada konsentrasi ion logam Pb(II) 25 ppm. Model Isoterm Freundlich merupakan model yang paling sesuai pada mekanisme adsorpsi biosorben seledri dengan ion logam Pb(II) yaitu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf laboratorium Kimia UIN Sunan Gunung Djati beserta seluruh Dosen dan staf jurusan Kimia UIN Sunan Gunung Djati dan semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Yoshita, Arora; Lu, Jin Li; Ye, Je Ha; Liang, Yu Ryi, "Sorption of Lead from Aqueous Solutions by Spent Tea Leaf," *African Journal of Biotechnology*, Afr. J. Biotechnol, vol. 8, no. 10, pp. 2212-2217, 2009.
- [2] Boontham, Weetara; Babel, Sandhya, "Apiaceae Family Plants as Low-Cost Adsorbents for the Removal of Lead Ion from Water Environment," *International Conference Civil Engineering and Materials Science*, vol. II, no. 4, pp. 1-5, 2017.
- [3] Bastani, Dariush; Hadi, Shayesteh; Mohebbi, Sanaz, "Methylene blue removal using modified Celery (*Apium graveolens*) as a low-cost biosorbent in batch mode: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies," *Journal of Molecular Structure*, vol. II, no. 6, pp. 1-45, 2018.
- [4] Imran, Ali; Gupta, Vinod Kumar, Environmental Water. Advances in Treatment, Remediation and Recycling, New Delhi: Elsevier, 2013.
- [5] Jayaram, Kumar; Prasad, Majeti Narasimha Vara, "Removal of Pb(II) from aqueous solution by seed powder of *Prosopis juliflora* DC," *Journal Hazard Mater*, vol. 169, no. 12, pp. 991-997, 2009.
- [6] Ismarani, "Potensi Senyawa Tanin dalam Menunjang Produksi Ramah Lingkungan," *Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*, vol. III, no. 5, pp. 5-12, 2012.
- [7] Sudiarta, I Wayan;, "Biosorpsi Ion Cr(III) pada Rumput Laut *Eucheuma Spinosum* Teraktivasi Asam Sulfat," *Jurnal Kimia*, vol. 3, no. 2, pp. 93-100, 2009.
- [8] Neupane, Shuvee ; Ramesh, Sadagoppan Tendulkar; Nadeesh, Parayarukandy Vettathu;, "Pineapple leaf (*Ananas comosus*) Powder as a Biosorbent for the Removal of Crystal Violet from Aqueous Solution," *Desalination and Water Treatment*, vol. 54, no. 2, pp. 2041-2054, 2014.
- [9] Pratama, Distika Adhi; Noor, Andi Muhammad Azhar; Sanjaya, Ari Susandy;, "Efektivitas Ampas Teh sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe dan Cu pada Air Sungai Mahakam," *Jurnal Integrasi Proses*, vol. 6, no. 3, pp. 131 - 138, 2017.
- [10] Atkins, Peter William, Kimia Fisik Jilid 2, Jakarta: Erlangga, 1990.
- [11] Hameed, Bassim H, "Spent tea leaves: A new non-conventional and low-cost adsorbent for removal of basic dye from aqueous solutions," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 161, no. 3, pp. 753-759, 2009.
- [12] Shevla, G, Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, Jakarta: PT. Kalman Media Pusaka, 1985.
- [13] Sembiring, Zipora, "Isoterm adsorpsi Ion Pb(II) dan Cd(II) pada Biomassa *Nannochloropsis* sp yang Dienkapsulasi Akuagel Silika," *Jurnal i-lib UGM*, vol. 9, no. 4, pp. 1-5, 2009.
- [14] Apriyanti, Hesti; Candra, I Nyoman; Elvinawati;, "Karakterisasi Isoterm Adsorpsi dari Ion Logam Besi (Fe) pada Tanah di Kota Bengkulu," *ALOTROP Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, vol. 2, no. 1, pp. 14-19, 2018.

Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Penyerap Remazol Brilliant Blue dalam Limbah Industri Batik Bogor

MAMAY MASLAHAT^{1*}, DIAN ARRISUJAYA², DAN NURLIDA DWIANISA³

¹)Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Nusa Bangsa, Bogor
Jl. KH. Sholeh Iskandar KM. 4, Cibadak, Tanah Sereal, Cibadak, Tanah Sereal, Bogor, Jawa Barat 16166.

²)Laboratorium Pengujian, Bogor

* alamat email korespondensi: maymaslahat.sasmita@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Kata kunci: karbon aktif, TKKS, Remazol Brilliant Blue, Adsorpsi, limbah batik Bogor.	Limbah Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) telah berhasil dimanfaatkan sebagai karbon aktif yang memiliki beberapa fungsi penting dalam kehidupan, salahsatunya sebagai penyerap zat-zat pencemar lingkungan. Pada industri batik, dihasilkan limbah cair yang berwarna cukup pekat yang mengandung senyawa <i>remazol brilliant blue</i> yang bersifat non-biodegradable. Jika limbah ini dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu akan menimbulkan dampak negatif yaitu pencemaran lingkungan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi karbon aktif TKKS dalam mengadsorpsi limbah cair zat warna <i>Remazol Brilliant Blue</i> dalam industri batik Bogor. Metode analisis yang dilakukan meliputi optimasi kondisi adsorpsi <i>remazol brilliant blue</i> oleh karbon aktif TKKS, penetapan persamaan isoterm adsorpsi, dan aplikasi karbon aktif dalam menyerap zat warna tersebut dalam limbah batik Bogor. Berdasarkan hasil penelitian diketahui kondisi optimum adsorpsi <i>remazol brilliant blue</i> oleh karbon aktif TKKS adalah pada pH 8, waktu kontak optimum 150 menit, konsentrasi <i>remazol brilliant blue</i> optimum sebesar 25 mg/L, dan massa karbon aktif sebesar 1 g. Proses adsorpsi <i>remazol brilliant blue</i> mengikuti persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dengan regresi sebesar 0,9519. Aplikasi arang aktif TKKS terhadap limbah batik Bogor menghasilkan persen efisiensi adsorpsi sebesar 97,81%.
Keywords: activated carbon, OPEFB, Remazol Brilliant Blue, adsorption, Bogor batik waste.	<i>Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) have been successfully used as activated carbon, which has several essential functions in life, one of which is an absorber of environmental pollutants. In the batik industry, liquid wastes that are quite thick in color were produced containing remazol brilliant blue compounds which are non-biodegradable. If those wastes were discharged into the environment without being treated first, it would cause a negative impact, namely pollution of the aquatic environment. This study aims to determine the potential of activated carbon OPEFB in the adsorption of liquid waste Remazol Brilliant Blue in the Bogor batik industry. The analysis methods included optimizing the conditions of remazol brilliant blue adsorption by activated carbon OPEFB, determining the equation of the adsorption isotherm, and applying activated carbon in absorbing these dyes in Bogor batik waste. The results showed that the optimum conditions of adsorption of remazol brilliant blue by activated carbon OPEFB were at pH 8, the contact time was 150 minutes, optimum remazol brilliant blue remazol concentration was 25 mg / L, and the mass of activated carbon was 1 g. The remazol brilliant blue adsorption process followed the Freundlich adsorption isotherm equation with a regression of 0.9519. The adsorption efficiency of Bogor batik waste using activated carbon OPEFB was 97.81%Tulis abstrak dalam bahasa Inggris di sini berdasarkan yang ditulis dalam bahasa Indonesianya. Gunakan secara konsisten salah satu "British English" atau "American English"</i>

PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit. Jumlah TKKS mencapai 22–23% atau sebanyak 220–230 kg dari berat 1 ton tandan buah segar setiap pemanenan. Pemanfaatan limbah TKKS oleh perkebunan kelapa sawit masih sangat terbatas. Sebagian besar perkebunan kelapa sawit di Indonesia masih membakar TKKS dalam insinerator, meskipun cara ini sudah dilarang oleh pemerintah. Hal ini dikarenakan insinerator akan menghasilkan emisi gas beracun dan pencemar lain ke lingkungan sekitar yang membahayakan kesehatan manusia. Alternatif pengolahan lainnya adalah dengan menimbun (*open dumping*), dijadikan mulsa, atau diolah menjadi kompos. Salah satu produk yang bernilai ekonomi yang dapat dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit adalah karbon aktif. Karbon aktif adalah arang yang diproses sedemikian rupa sehingga mempunyai daya serap yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan maupun uap. Karbon aktif dibuat melalui dua tahapan yakni karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi merupakan proses pembentukan karbon dari bahan baku dan proses ini sempurna pada suhu 400–600 °C, sedangkan aktivasi adalah proses pengubahan karbon dari daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Dikenal beberapa metode aktivasi karbon yaitu metode fisika dan kimia. Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi menggunakan uap panas, gas karbondioksida dengan suhu antara 700–1.100 °C, atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai activator. Berdasarkan penelitian diketahui bahwa aktivasi karbon TKKS pada suhu 800 °C selama 3 jam merupakan suhu aktivasi terbaik dalam pembuatan karbon aktif TKKS yang menghasilkan arang aktif dengan daya serap Iod sebesar 1.236,25 mg/g dan daya serap metilen blue sebesar 97,70% yang sesuai standar SNI No. 06-3730-1995 mengenai standar kualitas arang aktif [1]. Suhu aktivasi sangat berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan [2].

Karbon aktif yang berasal dari TKKS merupakan salah satu karbon aktif yang dapat digunakan dalam proses sorpsi limbah cair

industri batik. Industri batik merupakan industri yang cukup potensial yang dikembangkan oleh masyarakat termasuk masyarakat Bogor, namun industri ini menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan terutama lingkungan perairan. Industri batik dan tekstil merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan. Selain kandungan zat warnanya tinggi, limbah industri batik dan tekstil juga mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*. Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan terutama dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat menaikkan nilai *Chemical Oxygen Demand* [3]. Dalam pewarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya 95% akan dibuang sebagai limbah. Berdasarkan struktur kimianya zat warna dibagi menjadi bermacam-macam, antara lain: zat warna nitroso, nitro, azo, stilben, difenil metana, trifenil metana, akridin, kinolin, indigoida, aminokinon, anin dan indofenol. Namun, secara garis besar zat warna digolongkan menjadi dua golongan yaitu zat warna alami dan zat warna sintetik [4]. Salah satu contoh zat warna yang banyak dipakai industri tekstil adalah *Remazol Black, Blue, Red dan Golden Yellow* [3]. Apabila air limbah dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu maka dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama ekosistem perairan. Limbah organik akan meningkatkan kadar nitrogen menjadi senyawa nitrat yang menyebabkan bau busuk [5]. Berdasarkan hal tersebut maka perlu diketahui kondisi sorpsi limbah zat warna *Remazol Brilliant Blue* dalam limbah batik Bogor oleh karbon aktif TKKS. Kondisi sorpsi itu meliputi pH, waktu kontak, konsentrasi zat warna remazol, dan bobot optimum karbon aktif TKKS.

EKSPERIMEN

Material

Bahan – bahan yang diperlukan adalah limbah TKKS, limbah zat warna *Remazol Brilliant Blue* batik tulis dari Industri Batik Bogor “Tradisiku”, pewarna batik *Remazol Brilliant Blue*, NaOH 0,1 N (pa *Merck*), HCl 0,1 N (pa *Merck*), dan akuades.

Instrumentasi

Alat – alat yang diperlukan adalah peralatan gelas, neraca analitik *Ohaus*, alat pirolisis, ayakan ukuran 100 mesh, spektrofotometer *UV-Vis Shimadzu UV-1800*, oven *Memmert*, tanur *Thermo Scientific*, *shaker*, lemari es, dan botol semprot.

Prosedur

Analisis Remazol Brilliant Blue pada Limbah Batik Bogor

Penetapan Panjang Gelombang Maksimum

Larutan zat warna *Remazol Brilliant Blue* dengan konsentrasi 40 ppm, diukur absorbansinya dengan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang 430-650 sehingga didapatkan panjang gelombang maksimum. Panjang gelombang optimum dicari pada masing-masing kondisi pH yang diujikan yaitu 5, 6, 7, 8, dan 9 [6].

Pembuatan Larutan Standar Remazol Brilliant Blue 500 mg/L

Sebanyak 0,5 gram *Remazol Brilliant Blue* ditimbang, kemudian diencerkan menggunakan aquades ke dalam labu takar 1000 mL sampai tanda batas [6].

Pembuatan Kurva Standar Remazol Brilliant Blue

Kurva larutan zat warna *Remazol Brilliant Blue* dibuat dengan konsentrasi 4, 6, 8, 10 ppm melalui proses pengenceran dari larutan induk 500 ppm. Larutan tersebut diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang maksimum.

Karbonisasi TKKS

Pengambilan Sampel TKKS

Pengambilan sampel TKKS dilakukan di PT Perkebunan Nusantara VIII Kelapa Sawit Cikasungka, Cigudeg, kabupaten Bogor.

Persiapan Bahan

Pada tahap ini sampel TKKS mula-mula dipotong/dicacah. Setelah itu, bahan dicuci menggunakan air mengalir kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 1 minggu.

Proses Karbonisasi

Tandan kosong kelapa sawit sebanyak 16 kg dimasukkan ke dalam alat pirolisis untuk dilakukan karbonisasi terlebih dahulu. Karbonisasi dilakukan pada suhu 400°C selama 6 jam. TKKS yang telah dikarbonisasi (arang TKKS) tersebut didinginkan dalam *chamber* tertutup agar arang panas tidak teroksidasi. Setelah melewati proses pendinginan, proses selanjutnya adalah dilakukan penggilingan atau penumbukan pada arang TKKS[2].

Aktivasi Arang

Arang dimasukkan ke dalam tanur dan ditutup rapat sampai tidak terdapat kebocoran. Kemudian aktivasi arang dimulai dengan suhu yang telah ditentukan yaitu 800 °C masing-masing selama 3 jam. Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap kerja dari tanur dengan mengamati suhu pada tanur. Setelah terbentuk arang aktif, tahapan selanjutnya adalah pendinginan di dalam desikator [2].

Optimasi Sorpsi

Penentuan pH Optimum Absorpsi

1 gram karbon aktif TKKS dan 50 mL larutan *Remazol Brilliant Blue* 50 mg/L yang telah diatur pH-nya mulai dari 5, 6, 7, 8 dan 9 dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 100 mL. Pengaturan pH larutan dilakukan dengan menambahkan HCl 0,1 N atau NaOH 0,1 N. Labu Erlenmeyer tersebut *dishaker* menggunakan *shaker* kecepatan 150 rpm selama 60 menit, kemudian hasilnya disaring, dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang optimum dengan menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* [6].

Penentuan Waktu Kontak Optimum Absorpsi

Karbon aktif TKKS sebanyak 1 gram dan 50 mL larutan *Remazol Brilliant Blue* konsentrasi optimum dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer dengan pH optimum yang diperoleh. Labu Erlenmeyer tersebut *dishaker* dengan kecepatan 150 rpm dan variasi waktu 30, 60, 90, 120, dan 200 menit. Larutan disaring, filtrat larutan absorbansinya diukur dengan spektrofotometer *UV-Vis* [7].

Penentuan Konsentrasi Remazol Brilliant Blue Optimum

Karbon aktif TKKS sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam masing-masing Erlenmeyer,

kemudian dimasukkan 50 mL zat warna *Remazol Brilliant Blue* dengan konsentrasi masing-masing 25, 50, 75, 100, dan 125 mg/L dalam erlenmeyer. Campuran karbon aktif dan zat warna tersebut diaduk selama 60 menit dengan kecepatan 150 rpm kemudian disaring, diambil filtratnya dan absorbansinya diukur dengan spektrofotometer.

Penentuan Massa Optimum Karbon Aktif

Karbon aktif TKKS dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dengan variasi 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 gram, kemudian ditambahkan dengan 50 mL zat warna *Remazol Brilliant Blue*. Selanjutnya Erlenmeyer yang telah berisi arang aktif dan zat warna *Remazol Brilliant Blue* dengan konsentrasi optimum diaduk selama waktu kontak optimum dengan kecepatan 150 rpm. Campuran kemudian disaring dan diambil filtratnya untuk diukur absorbansinya dengan spektrofotometer [8].

Aplikasi Karbon Aktif TKKS pada Adsorpsi Limbah Zat Warna Batik Bogor

Karbon aktif TKKS sebanyak massa optimumnya dimasukkan ke dalam Erlenmeyer, ditambahkan 50 mL limbah zat warna batik lalu diaduk menggunakan *shaker* selama waktu kontak dan pH optimum. Hasil yang diperoleh kemudian disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer. Limbah zat warna batik diencerkan 200 kali [9].

Pengolahan Data

Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V(C_0 - C)}{m}$$

Persentase adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan [10]:

$$\text{Efisiensi adsorpsi (\%)} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

- Q = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
V = Volume larutan (L)

- C_0 = Konsentrasi awal (mg/L)
 C = Konsentrasi akhir (mg/L)
m = Bobot karbon aktif (g)

Penentuan Isoterm Langmuir

Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan persamaan isoterm Langmuir [10], yaitu:

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{\alpha\beta} + \frac{1}{\alpha}C$$

Keterangan :

- x/m = massa yang adsorbat yang dijerap pergram adsorben (mg/g)
 C = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah diadsorpsi (mg/L)
 α dan β = konstanta empiris isoterm Langmuir

Penentuan Isoterm Freundlich

Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan persamaan isoterm Freundlich [10], yaitu:

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C$$

Keterangan:

- x/m = massa yang adsorbat yang dijerap per gram adsorben
 C = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah diadsorpsi (mg/L)
n dan k = konstanta empiris isoterm Freundlich

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon Aktif TKKS

Bahan-bahan organik yang terkandung dalam TKKS pada proses pengarangan atau karbonisasi dirubah menjadi karbon. Karbonisasi merupakan salah satu dari proses termokimia yang dapat mengkonversi biomassa menjadi arang. Arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki rendemen sebesar 18,75%. Proses pengarangan atau karbonisasi merupakan reaksi pirolisis yang mendekomposisi material organik tanpa mengandung oksigen. Pada proses pirolisis terhadap kayu, lignin terdegradasi sebagai akibat

kenaikan suhu sehingga dihasilkan senyawa-senyawa karakteristik sesuai dengan jenis kayu. Proses pirolisis berlangsung dalam dua tahapan yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer terdiri dari proses cepat yang terjadi pada suhu 50 – 300 °C, dan proses lambat pada suhu 300 – 400 °C. Proses karbonisasi pada penelitian ini menggunakan suhu 400°C selama 6 jam, yang merupakan pirolisis primer lambat. Proses pirolisis primer cepat menghasilkan arang, berbagai gas, dan H₂O. Sedangkan proses lambat menghasilkan arang, H₂O, CO, dan CO₂. Pirolisis sekunder merupakan proses pirolisis yang berlangsung pada suhu lebih dari 600 °C dan terjadi pada gas – gas hasil, serta menghasilkan CO, H₂, dan hidrokarbon.

Karbon TKKS yang diperoleh kemudian diaktivasi untuk memperbesar luas bidang penyerapan. Proses aktivasi pada penelitian ini menggunakan aktivasi secara fisika, yaitu menggunakan panas dengan suhu 800 °C selama 3 jam. Suhu aktivasi 800 °C selama 3 jam merupakan kondisi terbaik dalam pembuatan arang aktif TKKS yang menghasilkan arang aktif dengan daya serap Iod sebesar 1.236,25 mg/g dan daya serap metilen blue sebesar 97,70% dan sesuai standar SNI No. 06-3730-1995 mengenai standar kualitas karbon aktif [1]. Fungsi proses aktivasi, baik fisika maupun kimia, adalah untuk memecahkan ikatan hidrokarbon pada karbon sehingga pori karbon akan bertambah luas.



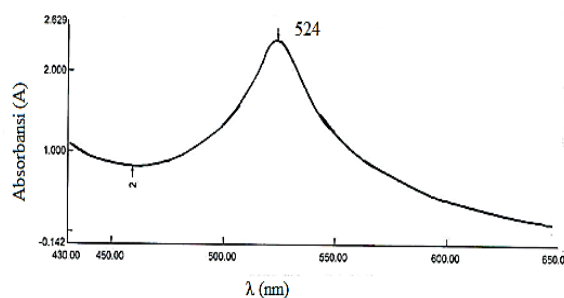
Gambar 1 Karbon Aktif TKKS

Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif TKKS

Panjang Gelombang Maksimum Penyerapan Remazol Brilliant Blue

Analisis kandungan *remazol brilliant blue* menggunakan metode spektrofotometri sehingga harus dilakukan penetapan panjang gelombang maksimum. Penetapan panjang gelombang maksimum diperoleh dengan mengukur absorbansi larutan zat warna *remazol brilliant blue* 40 ppm menggunakan

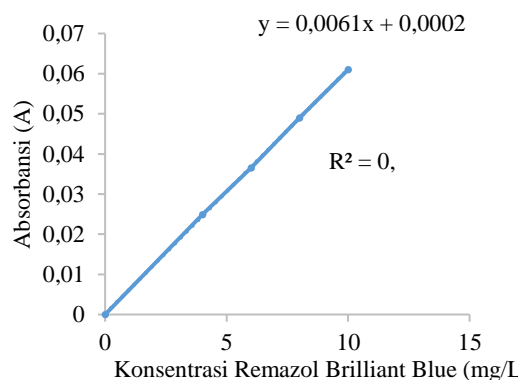
Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang antara 430 - 650 nm dengan pH yang bervariasi. Penggunaan variasi pH pada pengukuran dikarenakan pH dapat menyebabkan panjang gelombang berubah-ubah dan berpengaruh terhadap pengukuran absorbansi, sehingga perlu dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum *remazol brilliant blue* terhadap variasi pH. Variasi larutan yang digunakan dalam pengukuran adalah pH dengan rentang 5-9. Spektrum hasil penentuan panjang gelombang optimum zat warna *remazol brilliant blue* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Spektrum Panjang Gelombang Optimum Zat Warna *Remazol Brilliant Blue*

Kurva Kalibrasi Remazol Brilliant Blue

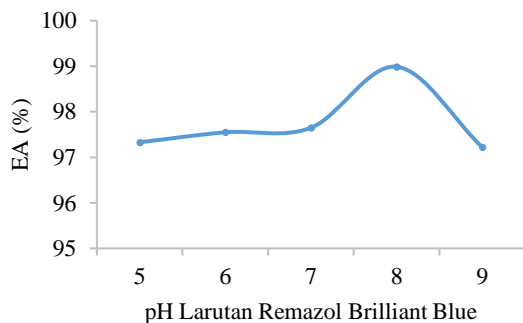
Pengukuran absorbansi larutan remazol menggunakan spektrofotometer visible dengan metode deret standar, sehingga perlu dilakukan pembuatan kurva standar/kurva kalibrasi. Kurva standar yang diperoleh sangat baik karena menghasilkan regresi linear sebesar 0,9999 (Gambar 3). Nilai regresi linear tersebut masuk ke dalam persyaratan yaitu di atas nilai 0,90 [11].



Gambar 3 Kurva Kalibrasi Larutan Standar *Remazol Brilliant Blue*

pH Optimum Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue oleh Karbon Aktif TKKS

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah pH. Hasil penelitian menunjukkan penyerapan zat warna *remazol brilliant blue* oleh karbon aktif TKKS yang terbesar terdapat pada pH 8 sebesar 2,48 mg/g dengan efesiensi adsorpsi (EA) sebesar 99,08%.

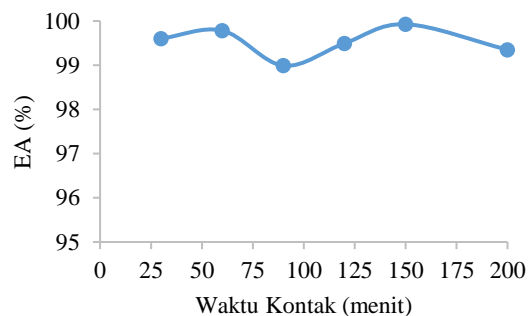


Gambar 41 Kurva Hubungan antara pH dengan Efisiensi Adsorpsi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* (%EA).

Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Larutan Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* oleh karbon Aktif TKKS

Waktu kontak optimum adalah waktu penyerapan adsorbat ke permukaan adsorben terjadi secara maksimum. Penentuan waktu kontak optimum dilakukan setelah diketahui pH optimum adsorpsi. Penentuan waktu kontak bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum pada zat warna tekstil yaitu *remazol brilliant blue* oleh arang aktif TKKS hasil sintesis. Waktu kontak dan tumbukan merupakan faktor penting dalam adsorpsi. Semakin banyak tumbukan yang terjadi maka reaksi semakin cepat berlangsung sampai terjadi kondisi setimbang. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penyerapan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Hal ini berlangsung hingga tercapai keadaan jenuh (kesetimbangan) yang seharusnya ditandai dengan tidak adanya lagi perubahan konsentrasi zat warna yang signifikan dalam sampel yang diolah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efesiensi adsorpsi (EA) naik seiring dengan bertambahnya waktu kontak namun bersifat fluktuatif, dan waktu optimum adsorpsi terjadi pada waktu 150

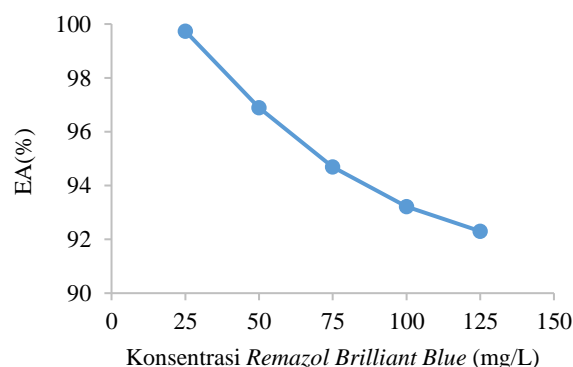
menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,27 mg/g dan efisiensi adsorpsi sebesar 99,93%.



Gambar 5 Kurva Hubungan Antara Waktu Kontak dengan Efisiensi Adsorpsi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* (%EA).

Konsentrasi Optimum Adsorpsi Larutan Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* oleh Arang Aktif TKKS

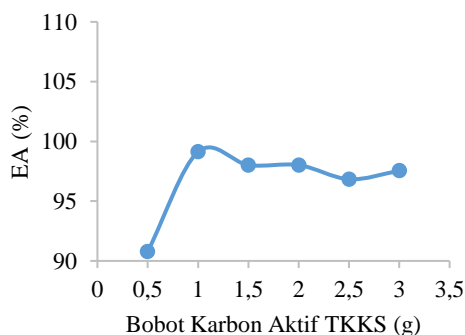
Adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* oleh karbon aktif TKKS terjadi pada konsentrasi optimum 25 mg/L dengan *remazol brilliant blue* yang terserap sebesar 99,74%. Setelah konsentrasi lebih dari 25 mg/L adsorben sudah mengalami kejenuhan, sehingga penambahan konsentrasi zat warna akan menurunkan kemampuan adsorpsi (Gambar 6). Konsentrasi zat warna berhubungan dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada permukaan adsorben, bila jumlah sisi aktif cukup besar dibandingkan jumlah zat warna maka efesiensi adsorpsi akan tinggi sampai pada jumlah sisi aktif sama dengan zat warna. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan setelah mencapai konsentrasi optimum, penambahan konsentrasi dapat menurunkan kemampuan adsorpsi [12].



Gambar 6 Kurva Hubungan Konsentrasi Awal *Remazol Brilliant Blue* dengan Efisiensi Adsorpsi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* (% EA)

Bobot Optimum karbon Aktif TKKS dalam Adsorpsi Larutan Zat Warna Remazol Brilliant Blue

Pengaruh jumlah adsorben merupakan parameter penting karena dapat menentukan kapasitas adsorben selama penambahan konsentrasi awal adsorbat. Adanya peningkatan jumlah adsorben cenderung meningkatkan daya serap terhadap adsorbat. Arang aktif TKKS berpengaruh terhadap proses adsorpsi karena semakin bertambahnya massa karbon aktif TKKS, maka nilai zat warna yang teradsorpsi juga akan semakin meningkat dan mencapai kesetimbangan. Berdasarkan Gambar 7 ditetapkan bahwa bobot karbon aktif TKKS sebanyak 1 gram sebagai bobot optimum.

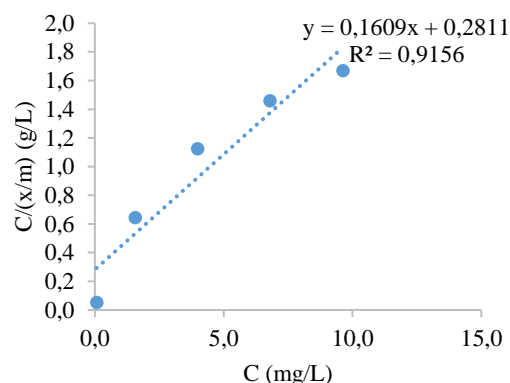


Gambar 7 Kurva Hubungan Bobot Karbon Aktif TKKS dengan Efisiensi Adsorpsi (% EA) dengan Efisiensi Adsorpsi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue* yang Teradsorpsi (%)

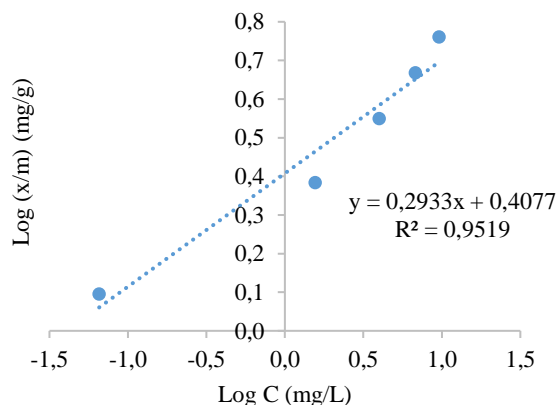
Isoterm Adsorpsi Arang Aktif TKKS Hasil Sintesis terhadap Larutan Zat Warna Remazol Brilliant Blue

Kapasitas adsorpsi dapat diperoleh dari perhitungan hasil jumlah zat warna teradsorpsi dan konsentrasi zat warna setimbang pada saat variasi konsentrasi zat warna *remazol brilliant blue*. Penelitian ini dikaji dengan dua model isoterm adsorpsi, yaitu isoterm adsorpsi Langmuir dan isoterm adsorpsi Freundlich. Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme penyerapan zat warna *remazol brilliant blue* dengan adsorben arang aktif TKKS. Isoterm adsorpsi Langmuir dilakukan dengan cara

membuat kurva hubungan $C/(x/m)$ terhadap C , sedangkan isoterm adsorpsi Freundlich dilakukan dengan membuat kurva hubungan $\log x/m$ terhadap $\log C$. Isoterm adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* dengan adsorben arang aktif TKKS dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Linearitas kedua tipe isoterm adsorpsi berbeda, yaitu 0,9156 untuk isoterm Langmuir dan 0,9519 untuk isoterm Freundlich.



Gambar 8 Grafik Isoterm Adsorpsi Langmuir



Gambar 9 Grafik Isoterm Adsorpsi Freundlich

Persamaan Langmuir yang diperoleh digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi, konstanta kesetimbangan, dan energi adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue*. Sedangkan persamaan Freundlich digunakan untuk mengetahui afinitas dan konstanta kesetimbangan. Afinitas merupakan ukuran kuat molekul adsorbat teradsorpsi menuju permukaan adsorben. Pengujian persamaan adsorpsi dibuktikan dengan kurva linear yang baik dan memiliki koefisien korelasi $R^2 \geq 0,9$ atau mendekati angka 1 [13]. Berdasarkan penelitian ini (Gambar 8 dan 9), dapat ditentukan bahwa adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* dengan adsorben karbon

aktif TKKS mengikuti tipe isoterm Freundlich karena nilai linearitasnya lebih besar.

Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi yang melibatkan fase padat-cair berlangsung secara fisika karena berinteraksi secara fisika yaitu hanya menempel pada permukaan pori adsorben saja. Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa permukaan arang aktif bersifat heterogen, membentuk banyak lapisan, terdapat sisi aktif adsorpsi yang memiliki afinitas tinggi, dan bagian lainnya memiliki afinitas yang rendah. Adsorpsi secara fisika terjadi terutama karena adanya gaya tarik antara molekul zat terlarut dengan adsorben lebih besar daripada gaya tarik antara molekul dengan pelarutnya, sehingga zat terlarut tersebut akan diadsorpsi ke permukaan adsorben. Mekanisme adsorpsi zat warna *remazol brilliant blue* dengan adsorben arang aktif TKKS terjadi melalui gaya tarik-menarik antarmolekuler di antara adsorben. Ikatan yang terjadi antara zat warna *remazol brilliant blue* dan adsorben diperkirakan terbentuk melalui ikatan hidrogen.

Nilai konstanta n , k , α , dan β dapat dihitung dari persamaan regresi Freundlich dan Langmuir untuk zat warna *remazol brilliant blue* dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai n dan k pada isoterm Freundlich tergantung pada suhu, adsorben, dan unsur-unsur yang dijerap. Nilai n menggambarkan intensitas dari adsorpsi, sedangkan nilai k menunjukkan kapasitas adsorpsi dari adsorben. Nilai α menggambarkan jumlah yang dijerap atau kapasitas adsorpsi untuk membentuk lapisan sempurna pada permukaan adsorben. Nilai β merupakan konstanta yang bertambah dengan kenaikan massa molekul yang menunjukkan kekuatan ikatan molekul adsorbat pada permukaan adsorben.

Tabel 1 Nilai Konstanta n , k , α , dan β dari Persamaan Regresi Freundlich dan Langmuir

Adsorbat	Freundlich		Langmuir	
	n	K	α	B
<i>Remazol brilliant blue</i>	3,41	2,56	6,22	0,57

Aplikasi Karbon Aktif TKKS terhadap Adsorpsi Limbah Cair Zat Warna Batik Bogor

Efisiensi adsorpsi (%EA) limbah cair zat warna *remazol brilliant blue* batik Bogor yang diadsorpsi oleh karbon aktif TKKS menghasilkan nilai sebesar 97,81%. Hasil ini memberikan nilai %EA yang lebih baik dibandingkan dengan hasil elektrokolorisasi zat warna *remazol* dengan metode elektrolisis menggunakan elektroda grafit. Larutan zat warna *remazol violet 5R* yang dapat didekolorisasi dengan metode tersebut adalah sebesar 83 % dalam waktu 90 menit [14]. Penggunaan jenis *remazol* yang berbeda namun masih dalam satu golongan zat warna ini yang merupakan faktor yang dapat mempengaruhi terdapatnya perbedaan hasil penelitian ini.



Gambar 20 Limbah cair zat warna batik daerah Bogor sebelum (a) dan Limbah cair zat warna batik daerah Bogor sesudah dilakukan adsorpsi dengan karbon aktif TKKS (b)

SIMPULAN

Karbon aktif TKKS dapat digunakan untuk mengadsorpsi limbah cair zat warna *remazol brilliant blue* dengan kondisi optimum adsorpsi pada pH 8, waktu kontak 150 menit, konsentrasi larutan *remazol brilliant blue* sebesar 25 mg/L dan bobot karbon aktif TKKS sebesar 1 g. Berdasarkan nilai regresi linear diketahui proses adsorpsi *remazol brilliant blue* oleh karbon aktif TKKS mengikuti persamaan isoterm Freundlich dengan R^2 sebesar 0,9519. Aplikasi karbon aktif TKKS terhadap adsorpsi limbah batik Bogor menghasilkan persen efisiensi adsorpsi sebesar 97,81%.

REFERENSI

- [1] Maslahat, Mamay; Arissujaya, Dian; Lismayani, Siti,, "Optimasi Suhu Aktivasi pada Pembuatan Arang Aktif

- Berbahan Dasar Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit," dalam *Seminar Lignoselulosa*, Bogor, 2018.
- [2] Idrus, R; B.P., Lapanporo; YS, Putra;, "Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa," *Prisma Fisika*, vol. 1, pp. 50-55, 2013.
- [3] H. Suprihatin, "Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya," *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2014.
- [4] Al-Kdasi, A; Idris, A; Saed; Guan, C T;, "Treatment of Textile Wastewater By Advanced Oxidation Processes," *Global Nest The Int. J. ,* vol. 6, pp. 222-230, 2004.
- [5] A. Sasstrawijaya, Pencemaran Lingkungan, Jakarta: Rineka Cipta, 2009.
- [6] Bokau NS, "Sintesis Membran Kitosan Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi untuk Proses Dekolorisasi," *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 3, pp. 42-49, 2014.
- [7] Mufrodi, Z; Widiastuti, N; Kardika, R.C;, "Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi," *Jurnal Teknik Kimia*, 2008.
- [8] Anjani, R.P; Koestiari, T;, "Penentuan Massa dan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Granular sebagai Adsorben Logam Berat Pb(Li) dengan Pesaing Ion Na," *Unesa Journal of Chemistry*, vol. 3, 2014.
- [9] Sumarni, "Adsorpsi Zat Warna dan Zat Padat Tersuspensi dalam Limbah Cair Batik," in *Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III*, Yogyakarta, 2012.
- [10] P. Atkins, Physical Chemistry, Oxford University, 1999.
- [11] Harmita, "Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya," *Majalah Ilmu Kefarmasian*, vol. 1, pp. 117-135, 2004.
- [12] D. Kristiyani, "Pemanfaatan zeolit Abu SEkam Padi untuk menurunkan ion Pb pada Air Sumur," *Indo. J. Chem. Sci*, vol. 1, 2012.
- [13] Amri, A.S; Fakhrurozi, M;, "Kesetimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd (II) dan Cr(III)dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-Mercaptobenzotiazol," *Jurnal Natur Indonesia*, vol. 6, pp. 111-117, 2004.
- [14] Karmanto; Sulistya, R.;; "Elektrodekolorisasi Zat Warna Remazol Violet 5R Menggunakan Elektroda Grafit," *Jurnal Kaunia*, vol. 10, pp. 1829-5266, 2014.

Biosorpsi Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dalam Sampel Air Sungai Citarum Desa Nanjung dengan Menggunakan Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*

SUCI RIZKI NURUL AENI^{1*}, HANDARINI², DAN FARHAN BAEHAKI³

¹²³ Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Rajawali, Jalan Rajawali Barat No 38 Bandung

* alamat email korespondensi: sua.tieq@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: Sungai Citarum; logam berat Cr^{6+}; Biosorpsi; <i>Saccharomyces cerevisiae</i></p>	<p>Predikat sungai citarum sebagai sungai yang paling tercemar di dunia tentunya harus dicarikan solusinya bersama-sama. Limbah industri tekstil dan limbah domestik merupakan masalah utama dalam pencemaran sungai citarum sehingga dipastikan akan kehadiran logam berat didalamnya. Salah satu logam berat yang bersifat toksik ialah logam kromium (Cr). Pada industri tekstil dan industri penyamakan kulit kita dapat menemukan limbah Bahan Berbahaya Beracun (B3) logam berat Cr. Logam berat Cr bervalensi 6 (Cr^{6+}) merupakan bentuk logam yang paling toksik. Teknik yang dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat Cr^{6+} dalam sampel air sungai citarum yaitu adsorpsi menggunakan material biologis (Biosorpsi). Biosorpsi merupakan proses penyerapan ion logam oleh bahan alami dalam penelitian ini menggunakan mikroorganisme. Proses biosorpsi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan jamur <i>Saccharomyces cerevisiae</i>. Jamur tersebut merupakan jamur yang dapat diperoleh dari limbah produksi makanan. Hasil penelitian dapat dimanfaatkan lebih luas oleh Pemerintah dalam rangka pemanfaatan limbah produksi tape dan fermipan yang selama ini belum diketahui dapat digunakan untuk adsorben pada teknik penanganan logam berat Cr^{6+} dalam limbah cair. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengadsorpsi logam berat Cr^{6+} dalam sampel air sungai Citarum oleh biomassa jamur skala laboratorium. Kadar logam Cr^{6+} yang terdapat pada air sungai sebelum dan setelah proses biosorpsi dihitung berdasarkan kurva standar larutan Cr^{6+} yang diukur dengan instrumentasi Spektrofotometer UV-Vis. Pada penelitian ini dilakukan uji pendahuluan terhadap sampel air sungai Citarum di Kawasan Desa Nanjung baik uji fisik maupun uji kimia. Material Biologis yang akan menjadi adsorben dikultur dalam medium <i>Potato Dextrose Agar</i> (PDA) hingga jumlahnya mencukupi untuk proses biosorpsi. Proses biosorpsi dilakukan pada sampel hingga akhirnya kadar logam setelah biosorpsi diukur kembali. Untuk mengetahui efektifitas dan efisiensi maka jumlah logam yang dapat diserap dibandingkan dengan kadar logam sebelum <i>treatment</i>. Luaran yang didapatkan dari penelitian ini adalah diperolehnya data kadar sebelum biosorpsi yaitu 1,679 mg/L dan setelah biosorpsi dengan penambahan 250 μ adalah 0,584494 mg/L pada kecepatan pengadukan low, 1,021294 mg/L pada kecepatan pengadukan medium dan sebesar 0,931204 mg/L pada kecepatan pengadukan high. Kadar setelah biosorpsi dengan penambahan 500 μ jamur adalah 0,630904 mg/L pada kecepatan pengadukan low, 0,619984 mg/L pada kecepatan pengadukan medium, dan 0,587224 mg/L pada kecepatan pengadukan high. Kadar setelah biosorpsi dengan penambahan 750 μ jamur adalah 0,407043 mg/L pada kecepatan pengadukan low, 0,393393 mg/L pada kecepatan pengadukan medium, dan 0,254163 mg/L pada kecepatan pengadukan high. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan biosorpsi menggunakan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> dapat menurunkan kadar logam berat Cr^{6+} dalam air sungai.</p>
<p>Keywords: Citarum river; Cr^{6+} heavy metal; Biosorption; <i>Saccharomyces cerevisiae</i></p>	<p><i>Citarum river predicate as the most polluted river in the world must certainly find out a solution together. Textile industry waste and domestic waste are the main problems in citarum river pollution so that the presence of heavy metals is ensured. One of the heavy metals which are toxic is chromium (Cr). In the textile industry and the leather tanning industry, we can find the Cr waste. The heavy metal Cr of 6 biloks (Cr^{6+}) is the most toxic form of metal. The technique that can be used to remove heavy metal Cr^{6+} in citarum river water samples is adsorption using biological material (Biosorption). Biosorption is the process of absorption of metal ions by natural materials in this study using fungi. The biosorption process carried out in this research used the fungus <i>Saccharomyces cerevisiae</i>. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> is a fungus that can be obtained from food production waste. Result of his research can be used more widely by the Government in the context of utilizing waste production of tape and</i></p>

*fermipan which has not been known can be utilization for adsorbents in the handling technique of heavy metal Cr^{6+} in liquid waste. The purpose of this study was to adsorb Cr^{6+} heavy metals in Citarum river water samples by laboratory scale fungus biomass. Cr^{6+} content in river water before and after the biosorption process was calculated based on the standard curve of the Cr^{6+} solution measured by UV-Vis spectrophotometer instrumentation. In this study a preliminary test of the Citarum river water sample in the Nanjung Area is both a physical test and a chemical test. Biological materials that will become adsorbents are cultured in the Potato Dextrose Agar (PDA) medium until the amount is sufficient for the biosorption process. The biosorption process is carried out on the sample until finally the metal content after the biosorption is measured again. To find out the effectiveness and efficiency, the amount of metal that can be absorbed compared to the metal content before treatment. The output from this study is the data obtained before the biosorption levels of 1.679 mg/L and after biosorption with the addition of 250 μ is 0.584494 mg/L at low stirring speed, 1.021294 mg/L at medium stirring speed and at 0, 931204 mg/L at high stirring speed. Levels after biosopsy with the addition of 500 μ fungi were 0.630904 mg/L at low stirring speed, 0.619984 mg/L at medium stirring speed, and 0.587224 mg/L at high stirring speed. Levels after biosopsy with the addition of 750 μ fungi were 0.407043 mg/L at low stirring speed, 0.393393 mg/L at medium stirring speed, and 0.254163 mg/L at high stirring speed. Based on the results of this study concluded that biosorption using *Saccharomyces cerevisiae* can reduce levels of heavy metal Cr^{6+} in river water.*

PENDAHULUAN

Saat ini pemerintah sedang melakukan berbagai usaha untuk meningkatkan taraf hidup serta kesejahteraan masyarakat. Salah satunya dengan meningkatkan nilai ekonomi dalam sektor industri. Akan tetapi, peningkatan sektor industri diikuti dengan meningkatnya produksi limbah yang akhirnya dapat mencemari lingkungan[1]. Limbah sangat berpengaruh terhadap lingkungan di sekitarnya karena dapat merusak kualitas lingkungan. Secara sederhana limbah dapat diartikan sebagai sampah dan dalam bahasa ilmiah disebut polutan.

Salah satu contoh lingkungan yang sudah tercemar oleh limbah adalah sungai Citarum. Sungai Citarum merupakan sungai terpanjang di Jawa Barat dinobatkan oleh World Bank Pada Tahun 2018 sebagai sungai terkotor di dunia. Kerusakan yang terjadi adalah akibat dari pencemaran yang berasal dari limbah industri dan sampah domestik[2]. Selain berasal dari limbah industri, limbah tekstil juga dapat berasal dari limbah pendidikan misalnya dari Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil Bandung (STTT Bandung)[3].

Pencemaran lingkungan akibat limbah industri merupakan salah satu masalah utama dalam pencemaran lingkungan karena kehadiran logam berat di dalamnya. Logam berat yang berbahaya mencemari lingkungan dan bersifat toksik salah satunya adalah logam kromium (Cr). Logam ini dapat berada di lingkungan perairan, tanah maupun udara. Sifat toksik yang dibawa ion Cr^{6+} dapat mengakibatkan keracunan akut seperti

muntah, diare dan gangguan pencernaan. Sedangkan keracunan kronis yang ditimbulkan seperti iritasi kulit, iritasi membran selaput lendir, gangguan pada ginjal dan hati hingga dapat menyebabkan kanker paru-paru pada pekerja industri yang menggunakan kromium[4].

Biaya pengolahan limbah yang besar serta proses yang rumit membuat para pelaku sering mengabaikan baku mutu limbah cair[5]. Kondisi tersebut mendorong dikembangkannya usaha-usaha pengendalian limbah ion logam. Metode tersebut mengarah pada pencarian metode-metode baru dengan harga yang murah, efektif, dan efisien. Teknik adsorpsi dapat dipakai dalam industri karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu lebih ekonomis dan juga tidak menimbulkan efek samping yang beracun serta mampu menghilangkan bahan-bahan organik dan anorganik pada limbah. Proses adsorpsi dengan menggunakan bahan biologis merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan dalam pengolahan limbah. Beberapa biomaterial berpotensi dapat menyerap ion-ion logam berat. Beberapa contoh biometrial yang dapat digunakan dalam adsorpsi limbah antara lain adalah alga, sabut kelapa, sekam padi, dan jamur. Berdasarkan penelitian diketahui bahwa biomaterial mempunyai kapasitas penyerapan maksimum yang cukup besar terhadap ion logam[6].

Manfaat penggunaan biosorpsi adalah sifatnya yang ramah lingkungan, relatif lebih aman dan tidak mempunyai dampak yang lebih serius

bagi lingkungan, dibandingkan dengan menggunakan pemisahan menggunakan bahan kimia yang lebih berbahaya bagi lingkungan. Keuntungan pemanfaatan mikroorganisme sebagai biosorben yaitu biaya operasional rendah, efisiensi dan kapasitas pengikatan logam yang tinggi, lumpur yang dihasilkan minimum, dapat diregenerasi, ketersediaan tinggi, serta tidak memerlukan tambahan nutrisi jika menggunakan mikroba yang sudah mati[7]. Mikroorganisme yang dapat digunakan pada proses biosorpsi salah satunya adalah *Saccharomyces cerevisiae*. *S. cerevisiae* terdapat dalam biakan alami, dapat pula diperoleh dari limbah pabrik bioetanol (*S. cerevisiae*) dan dijual bebas dalam bentuk fermipan. Persentase material dinding sel jamur sebagai sumber pengikat yang tinggi membuat *S. cerevisiae* memiliki potensi penyerapan yang efektif terhadap logam berat[8].

EKSPERIMEN

Material

Alkohol (p.a. Merck), Aseton (p.a. Merck), $K_2Cr_2O_7$ (p.a. Merck), 1,5-difenilkarbazida (p.a. SIGMA A), H_2SO_4 (p.a. Merck), HNO_3 (p.a. Merck), Potato Dextrose Agar (oxoid).

Instrumentasi

Spektrofotometer UV-Visible merk Thermo Scientific tipe Genesis 14s

Prosedur

Uji Pendahuluan Fisik dan Kimia Terhadap Sampel air Sungai Citarum

Pada uji Pendahuluan Fisik dilakukan pengamatan terhadap warna, kekeruhan, bau dan suhu air. Kemudian, pada Uji Pendahuluan Kimia dilakukan pengujian pH air dan pengukuran kadar Logam berat Cr^{6+}

Pembuatan larutan difenilkarbazid

Ditimbang kristal 1,5-difenilkarbazida sebanyak 0,125 gram, kemudian dilarutkan dengan aseton di dalam labu ukur 25 mL.

Pembuatan Larutan Standar Cr^{6+}

Pada pembuatan Larutan Standar Cr^{6+} 100 ppm Ditimbang $K_2Cr_2O_7$ sebanyak 10 mg, kemudian dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 100 mL. Pembuatan Larutan Konsentrasi Cr^{6+}

dibuat larutan deret standar dengan konsentrasi 0,3; 0,6; 0,9; 1,2, dan 1,5 ppm dari larutan standar $K_2Cr_2O_7$ 100 ppm. Kemudian tambahkan 2 mL larutan H_2SO_4 , dan 0,5 mL difenilkarbazida. Dilakukan pengukuran dengan menggunakan Spektrofotometer UV- Visible (UV-Vis) pada panjang gelombang 525 nm.

Pengukuran Kadar Logam Cr^{6+} Sampel Air Sungai

Sampel air disaring dengan kertas saring. Filtrat dipipet sebanyak 2,5 mL dan ditambahkan dengan 2 mL larutan H_2SO_4 , 0,5 mL difenilkarbazida, dan akuades dalam labu ukur 25 mL. Larutan diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Visible (UV-Vis) pada panjang gelombang 525 nm untuk mengetahui kadar Cr^{6+} .

Pembuatan Biomassa

Pembuatan Medium PDA (Potato Dextrose Agar)

Alat gelas disterilisasi menggunakan autoclave. Ditimbang sebanyak 19,5 gram medium PDA dan dilarutkan dengan 500 mL akuades. Larutan dipanaskan hingga mendidih dan diaduk. Setelah mendidih angkat dan tutup mulut labu erlenmeyer dengan menggunakan sumbat kapas. Kemudian dilapisi menggunakan aluminium foil dan kertas. Selanjutnya dilakukan sterilisasi dalam autoclave lalu didinginkan pada suhu $\pm 45^\circ C$.

Medium hasil sterilisasi dituangkan medium ke dalam cawan petri dan tabung reaksi steril sebelum menjadi agar masing-masing 15-20 mL. Pengerjaan ini dilakukan di dalam laminar air flow secara aseptik. Pinggiran cawan petri dilapisi dengan plastik wrapping. Diamkan hingga medium tersebut membeku.

Peremajaan jamur *Saccharomyces cerevisiae*

S. cerevisiae distreak pada medium PDA di dalam cawan yang telah dibuat sebelumnya. Pengerjaan ini dilakukan di dalam laminar air flow secara aseptik. Lapis pinggiran cawan petri dengan plastik wrapping. Medium diberi kode nama dan tanggal pembuatan. Kemudian diinkubasi pada suhu $30^\circ C$ dalam inkubator selama 2x24 jam.

Inokulasi jamur *Saccharomyces cerevisiae*

Dengan menggunakan ose, ambil *Saccharomyces cerevisiae* dari hasil peremajaan di cawan petri secukupnya pindahkan ke dalam

erlenmeyer yang berisi medium PDA. Pengerjaan ini dilakukan di dalam laminar air flow secara aseptik. Tutup sumbat. Diberi kode nama dan tanggal inokulasi. Kemudian diinkubasi pada suhu 30°C dalam inkubator statis selama 4x24 jam.

Pengambilan Sampel Air Sungai Citarum

Menyiapkan alat pengambil contoh air yang terbuat dari botol kaca steril. Bilas botol

Biosorpsi dengan Menggunakan Biomassa Jamur

Saccharomyces cerevisiae dipanen, dipindahkan ke wadah lain kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 80°C selama 1 jam untuk mengeringkan jamur.

Haluskan menggunakan lumpang dan alu. Timbang untuk diketahui bobot biomassa yang didapatkan. Larutkan dalam aquades steril sebanyak 50 mL.

Proses biosorpsi

Masukkan biomassa dengan massa masing-masing 250 μ , 500 μ dan 750 μ ke dalam 100 mL sampel air. Larutan dijaga pada pH 3. Lakukan pengadukan selama 50 menit dengan kecepatan *low*, *medium* dan *high*. Filtrat kemudian disentrifuge selama 15 menit dan lakukan pengukuran pada supernatan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 525 nm untuk mengetahui penurunan kadar Cr^{6+} dalam sampel air sungai.

Biosorpsi dengan Menggunakan Biomassa Jamur

Saccharomyces cerevisiae dipanen, dipindahkan ke wadah lain kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 80°C selama 1 jam untuk mengeringkan jamur.

Haluskan menggunakan lumpang dan alu. Timbang untuk diketahui bobot biomassa yang didapatkan. Larutkan dalam aquades steril sebanyak 50 mL.

Proses biosorpsi

Masukkan biomassa dengan massa masing-masing 250 μ , 500 μ dan 750 μ ke dalam 100 mL sampel air. Larutan dijaga pada pH 3. Lakukan pengadukan selama 50 menit dengan kecepatan *low*, *medium* dan *high*. Filtrat kemudian disentrifuge selama 15 menit dan lakukan pengukuran pada supernatan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 525 nm untuk mengetahui penurunan kadar Cr^{6+} dalam sampel air sungai.

contoh dan tutupnya dengan air sungai. Buang air pembilas dan isi botol dengan sampel hingga beberapa cm di bawah puncak botol agar masih tersedia ruang untuk menambahkan pengawet dan melakukan pengocokan. Jika air sudah memenuhi botol, angkat botol lalu segera disaring dengan kertas saring dan tambahkan pengawet HNO_3 sampai pH=3 agar valensi kromium (VI) stabil. Sampel dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pemeriksaan.

Pengukuran Kadar Logam Cr^{6+} Menggunakan Spektrofotometer UV-Visible (UV-Vis) dalam Air Sungai yang telah dilakukan Biosorpsi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang dipilih adalah air sungai Citarum Desa Nanjung di kawasan Kabupaten Bandung. Keadaan fisiknya menunjukkan air tersebut telah tercemar. Air sungai berwarna hitam, berbau tajam dan menyengat, sangat keruh, serta pH nya asam. Hal ini sesuai dengan data dan referensi diduga kerusakan yang terjadi adalah akibat dari pencemaran yang berasal dari limbah industri dan sampah domestik [1]

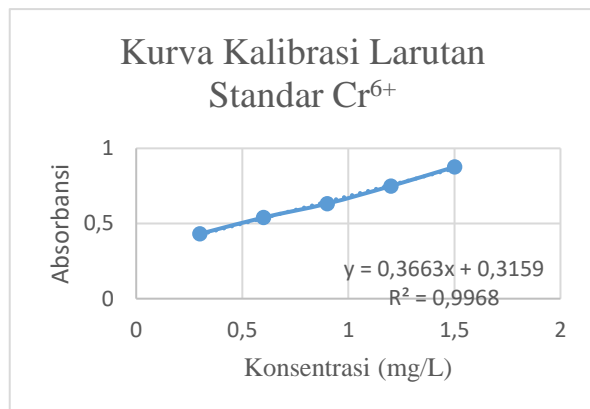
Air sungai diuji keberadaan dan kadar Cr^{6+} nya menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Dari Uji pendahuluan diperoleh data bahwa dalam air sungai Citarum terdapat logam berat sebesar 1,679 mg/L (Desa Nanjung). Hal tersebut menunjukkan bahwa biosorpsi dapat dilakukan pada sampel air sungai Citarum. Kadar Cr^{6+} telah melebihi ambang baku mutu air sebesar 0,05 mg/L^[2]. Proses persiapan biosorpsi adalah berupa pembiakan *Saccharomyces cerevisiae* Diawali oleh proses sterilisasi alat-alat yang akan digunakan untuk inokulasi. Sterilisasi menggunakan Autoclave agar dihasilkan alat yang bebas kontaminan. Data absorbansi deret larutan standar adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Data absorbansi deret larutan standar $K_2Cr_2O_7$

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0,3	0,431
0,6	0,54
0,9	0,632
1,2	0,749

1,5	0,876
-----	-------

Berdasarkan data pada **Tabel 1**, maka diperoleh data kurva kalibrasi standar adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Kromium (VI)

Berdasarkan tabel 1, diperoleh koefisien regresi linear $R^2 = 0,9968$. Maka persamaan linear tersebut dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi Cr^{6+} dalam sampel air. Persamaan linear yang digunakan adalah $y = 0,3663x + 0,3159$. Kemudian diukur absorbansi pada panjang gelombang 525 nm diperoleh data pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Absorbansi Hasil Biosorpsi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*

Lokasi	Absorbansi Awal	Absorbansi S+Biomassa 250 μ		
		Low	Medium	High
Nanjung	0,931	0,53	0,69	0,657
		Absorbansi S+Biomassa 500 μ		
		Low	Medium	High
		0,547	0,543	0,531
		Absorbansi S+Biomassa 750 μ		
		Low	Medium	High
		0,465	0,46	0,409

Berdasarkan data absorbansi yang diperoleh maka diubah menjadi data konsentrasi Cr^{6+} pada

sampel berdasarkan persamaan garis regresi linear kurva standar dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3 Kadar Sampel Setelah Biosorpsi

Lokasi	Kadar (mg/L)	S+Biomassa 250 μ		
		Low	Medium	High
Nanjung	1,679	0,585	1,021	0,931
		S+Biomassa 500 μ		
		Low	Medium	High
		0,631	0,620	0,587
		S+Biomassa 750 μ		
		Low	Medium	High
		0,407	0,393	0,254

Pada penambahan biomassa sebanyak 250 μ telah terjadi penurunan kadar $\text{Cr}(\text{VI})$ sebanyak 65,158% (kecepatan low), 39,190 % (Kecepatan medium), dan 44,55 % (kecepatan high). Penurunan kadar tertinggi terjadi pada penambahan biomassa sebanyak 750 μ yapada kecepatan high penurunan sebesar 87,872%. Hasil penelitian sesuai dengan hasil penelitian Syauqiah *et.al.* tahun 2011 yaitu Semakin besar jumlah biomassa dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan biomassa [18].

Kecepatan pengadukan mempengaruhi kadar akhir hasil biosorpsi yaitu semakin besar kecepatan maka penurunan kadar $\text{Cr}(\text{VI})$ semakin tinggi. Hasil ini sesuai dengan penelitian lain yaitu Proses pengadukan yang berlangsung cepat menyebabkan biosorben dapat memperbesar zona kontak dengan bulk [14].

SIMPULAN

Kadar logam berat $\text{Cr}(\text{VI})$ dalam sampel air sungai Citarum Desa Nanjung dapat diturunkan dengan teknik Biosorpsi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Penurunan kadar tertinggi diperoleh dengan penambahan suspensi *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 750 μ yaitu mengalami penurunan sebesar 87,872%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kemenristek Dikti yang telah memberikan bantuan dana Hibah Penelitian Dosen Pemula dengan nomor kontrak: **2755 /L4/PP/2019**.

REFERENSI

- [1] Sugiharto. *Dasar-dasar pengolahan air limbah*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), 2014
- [2] R. Rahmadi. "Citarum Harum, langkah optimis pemerintah pulihkan kejayaan sungai citarum (bagian3)" [Online]. [2018] [cited 2018 Jul 22]; Availabe from: <https://www.google.co.id/amp/www.mongobay.co.id/2018/02/28/citarum-harum-langkah-optimis-pemerintah-pulihkan-kejayaan-sungai-citarum-bagian-3/amp/>
- [3] S. R. N. Aeni, I. P. Sari, M. Almira 2019. "Biosorpsi Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr6+) Dalam Limbah Pendidikan dengan Menggunakan Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*". JKR Issue Vol 9 No 1 (2019): Maret; Bandung
- [4] C. Casalegno et.al. "External Scientific Report Collate literature data on toxicity of Chromium (Cr) and Nickel (Ni) in experimental animals and humans". Supporting publications 2015:EN-478 [ONLINE]. [2015] [cited 2018 Oct 2]; Availabe from: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/sp.efsa.2015.EN-478>
- [5] N. Leorita. "Uji daya serap ion logam berat Pb, Cr dan Cu dari limbah sintesis menggunakan biomaterial daun jambu biji dengan metode spektrofotometri serapan atom (SSA)". [SKRIPSI] Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Pekanbaru; 2011.
- [6] C. Lapik. et.al., "Biosorpsi Logam Berat Cr(VI) dengan Menggunakan Biomassa *Saccharomyces Cerevisiae*". Jurnal Tugas Akhir Universitas Hasanuddin Tahun 2017 [ONLINE]. [2017] [cited 2018 Aug 2]; Availabe from: http://digilib.unhas.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/MzBhODZmOGwZjNkMzc5MGE5OTk3ZDVjNGQyMjBkOGI4ZjIyMzc2Zg==.pdf
- [7] A. Mallongi. Dampak Limbah Cair dari Aktivitas Institusi dan Industri. Yogyakarta: Gosyen Publishing; 2017
- [8] Natalina, H. Firdaus. Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr6+) Dalam Limbah Batik Menggunakan Limbah Udang (Kitosan). Jurnal Teknik Universitas Diponegoro 2017; 38 (2); 99-102
- [9] H. Palar. Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta: Rineka Cipta; 2008
- [10] Hasrianti. "Adsorpsi ion Cd2+ dan Cr6+ pada limbah cair menggunakan kulit singkong". [TESIS] Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin. Makassar, 2012.
- [11] L. Simatupang. dan S. S. Devi. "The preparation & characterization of Sinabung volcanic ash as silica based adsorbent". Jurnal Pendidikan Kimia 2016, 8: 9- 13.
- [12] R. Rizna dan Sajidah. "Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) Dalam Limbah Cair". Prosiding Seminar Nasional Biotik 2017 Prodi Pendidikan Biologi UIN Ar-Raniry, 2017
- [13] Nurhasni, Hendrawati, N. Saniyyah. "Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah". Valensi 2014 Mei; 4(1); 36-44
- [14] Asnawati, R.R. Kharismaningrum, N. Andarini. "Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B Dalam Sistem Dinamis". Jurnal Kimia Riset 2017 Jun; 2(1); 23 - 29
- [15] Sirajuddin, M. Syahrir, I. Syahrir. "Optimasi kecepatan pengadukan pada proses adsorpsi limbah cair laundry untuk menurunkan kadar sufraktan menggunakan batu bara". Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017 Nov; 1-8

- [16] L. Kurniasari. “Pemanfaatan mikroorganisme dan limbah pertanian sebagai bahan baku biosorben logam berat”. Momentum 2010 Oct; 6 (2); 5-8
- [17] R. R. Pratiwi, S. Elystia, S.R. Muria. Biosorpsi kromium (Cr) pada limbah cair industri elektroplating menggunakan biomassa ragi roti (*Saccharomyces cerevisia*). Jom FTENIK 2017 Feb; 4 (1); 1-7.
- [18] I. Syauqiah, M. Amalia, H.A. Kartini. “Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif”. Info Tekik [Online] 2011 Jul;12(1);11-20 [Cited 2019 Jan 15]Availablefrom: URL:<https://media.neliti.com/media/publications/70401-ID-analisis-variasi-waktu-dan-kecepatan-pen.pdf>

Sintesis *Pure Plant Oil* dari Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba Pentandra L.*)

EDWIN PERMANA,¹ EXCEL EMERLAN SAMIAR WASISTHA,² DAN SRI DJANGKUNG SUMBOGO MURTI^{3*}

¹Program Studi Kimia Industri Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, Jl. Jambi-Ma. Bulian KM 15 Mendalo Indah Ma-Jambi, Jambi 36361

²Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, Jl. Jambi-Ma. Bulian KM 15 Mendalo Indah Ma-Jambi, Jambi 36361

³Pusat Teknologi Sumberaya Energi dan Industri Kimia, BPPT, Gedung Energi 625 Klaster V Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan 15314

* alamat email korespondensi: edwinpermana86@unja.ac.id

Informasi Artikel Abstrak/Abstract

Kata kunci: *Pure Plant Oil (PPO)*; Biji Kapuk Randu; *Degumming*; *Aquadest*; Netralisasi

Bahan bakar alternatif dari sumberdaya terbarukan (*renewable resources*), diharapkan mampu mengurangi ketergantungan pada BBM fosil. Biofuel atau bahan bakar nabati adalah bahan bakar alternatif yang potensial untuk substitusi bahan bakar minyak (BBM). *Pure Plant Oil (PPO)* sebagai salah satu biofuel yang berasal dari tumbuhan. PPO telah melalui proses *degumming* dan netralisasi dari minyak nabati. Salah satu bahan yang potensial karena pemanfaatannya yang kurang maksimal yakni biji kapuk randu dengan kandungan minyak berkisar antara 25% - 40%. Proses *degumming* menggunakan *aquadest* bertujuan untuk menghilangkan *gum* yang mengandung senyawa fosfat terhidrasi dan tidak terhidrasi. Pada tahap netralisasi, terjadi reaksi saponifikasi menggunakan NaOH membentuk sabun yang akan menghilangkan senyawa fosfat yang tidak larut dalam air dengan membentuk emulsi. Dari beberapa pengulangan diperoleh rendemen *PPO* sebesar 43,52 - 66,36 %. *PPO* yang dihasilkan juga dilakukan beberapa analisis mutu yaitu kadar FFA, titik tuang, titik nyala, densitas, bilangan asam dan viskositas.

Keywords: *Pure Plant Oil (PPO)*; kapok seed; *Degumming*; *Aquadest*; *Neutralization*

Alternative fuels from Renewable Resources, are expected to reduce dependence on fossil fuels. Biofuel is a potential alternative fuel for fuel oil replacement. Pure plant oil (PPO) as a biofuel derived from plants. PPO has gone through the process of degumming and neutralization of vegetable oils. One of the potential ingredients due to less optimal utilization is kapok seeds with oil content between 25% - 40%. The degumming process uses aquadest to remove gum containing hydrated and non-hydrated phosphate composition. In the neutralization reaction, occur saponification using NaOH forms a soap that will remove phosphate compounds that are insoluble in the water by forming an emulsion. From a number of repetitions, the yield of PPO is 43,52 – 66,36%. The resulting PPO was also carried out with several analyzes of FFA levels, pour points, flash points, densities, acid numbers and viscosity.

PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, pengembangan wilayah, dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi di semua sektor pengguna energi secara nasional juga semakin besar. Selama ini kebutuhan energi dunia dipenuhi oleh sumber daya tak terbarukan, seperti gas bumi, minyak bumi, batubara dan sebagainya. Hal ini karena

harga bahan bakar minyak yang murah, kinerja yang baik, dan disubsidi oleh pemerintah, menyebabkan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi menjadi pilihan selama bertahun-tahun [1]. Namun, tidak selamanya energi tersebut dapat mencukupi seluruh kebutuhan dalam jangka panjang. Cadangan energi semakin lama semakin menipis dan proses produksinya membutuhkan waktu yang lama.

Semakin menipisnya cadangan sumber energi fosil terutama minyak bumi memaksa pemerintah Indonesia dan masyarakat untuk mencari alternatif lain sebagai sumber energi. Upaya pencarian, pengembangan, dan penggalian sumber energi alternatif harus mempertimbangkan faktor-faktor utamanya, yaitu energi, ekonomi dan ekologi, dengan kata lain sistem yang dikembangkan harus dapat memproduksi energi dalam jumlah yang besar, dengan biaya yang rendah serta mempunyai dampak terhadap lingkungan yang minimal dan tidak membahayakan [2]. Bahan bakar alternatif, dari sumberdaya terbarukan (*renewable resources*), diharapkan mampu mengurangi ketergantungan pada BBM fosil. Biofuel atau bahan bakar nabati adalah bahan bakar alternatif yang potensial untuk substitusi bahan bakar minyak (BBM). Pure Plant Oil (PPO) sebagai salah satu biofuel yang berasal dari tumbuhan yang mengandung biji. PPO telah melalui proses degumming dan netralisasi dari minyak nabati [3].

Salah satu bahan yang potensial karena pemanfaatannya yang kurang maksimal yakni biji kapuk. Saat ini, biji kapuk hanya digunakan sebagai campuran dalam pakan ternak. Kandungan minyak pada biji kapuk berkisar antara 25% - 40% [4]. Minyak biji kapuk randu memiliki komposisi asam linoleat yang dominan sekitar 68,452 % dan mengandung campuran triester gliserol dan asam lemak yang secara umum disebut trigliserida [5]. Menurut [6] minyak biji kapuk mudah tengik karena memiliki kandungan asam lemak tak jenuh sekitar 71,95% lebih tinggi dari minyak kelapa. Minyak yang mudah tengik kurang baik apabila dikembangkan menjadi minyak makanan, sehingga minyak biji kapuk sangat potensial apabila dikembangkan menjadi *Pure Plant Oil* (PPO). Proses pembuatan *Pure Plant Oil* (PPO) dilakukan dengan dua tahap utama yaitu *degumming* dan netralisasi. *Degumming* merupakan proses untuk menghilangkan *gum* yang mengandung senyawa fosfat terhidrasi dan senyawa fosfat tidak terhidrasi. Netralisasi adalah proses pembentukan sabun untuk menghilangkan kadar asam lemak bebas pada minyak.

EKSPERIMEN

Pada proses sintesis *pure plant oil* (PPO) ini mengadopsi metode dari penelitian yang dilakukan oleh [7]. Namun perbedaannya terletak pada bahan

baku yang digunakan dan senyawa dalam proses *degumming*.

Material

Minyak biji kapuk randu yang diperoleh dari Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), *aquadest*, NaOH 14° Be, KOH 0,12 N, H₂C₂O₄, etanol 96 % dan indikator fenolftalein,

Instrumentasi

Seperangkat alat gelas (pyrex), seperangkat alat titrasi, pipet tetes, pipet volumetrik, *hot plate*, *magnetic stirrer*, termometer, corong pisah, neraca analitik, piknometer, *Miniflash FLP Touch*, *Pour Point Proline Kyromat* RP 4050 C LAUDA, *Viscotemp* 18 LAUDA

Prosedur

Sintesis Pure Plant Oil

Minyak biji kapuk randu ditimbang 200 gram. Kemudian dipanaskan dipanaskan pada suhu 70° C. Dibuat larutan NaOH 14° Be atau setara dengan 11,7 %. Dipanaskan *aquadest* pada suhu 70° C. Ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam minyak selama 60 menit dan diaduk dengan kecepatan 300 rpm. Dipisahkan lapisan minyak dan *aquadest*. Dilarutkan lapisan minyak dengan NaOH 14° Be selama 10 menit kemudian disaring. Dicuci dengan *aquadest* hingga pH *aquadest* netral. Dipanaskan pada suhu 100° C. Diperoleh *Pure Plant Oil* biji kapuk randu.

Karakterisasi

Kadar FFA

Dalam penentuan kadar FFA dilakukan untuk mengetahui kadar asam lemak bebas yang terdapat dalam sampel dan dilakukan pengujian sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 7431 : 2008) yaitu dilakukan dengan mereaksikan 1 gram sampel dengan etanol 96 % sebanyak 25 mL. Kemudian ditambahkan indikator fenolftalein 8 tetes. Selanjutnya dilakukan titrasi dengan KOH 0,1 N yang telah distandarisasi hingga terjadi perubahan warna menjadi merah muda

Densitas

Penentuan densitas dilakukan dengan menggunakan piknometer. Uji densitas dilakukan sesuai dengan metode uji ASTM D 1298/ASTM D 4052 yaitu dengan menimbang piknometer dalam keadaan kosong dan kering serta dicatat beratnya (W). Kemudian dipanaskan sampel hingga suhu 40°C. Selanjutnya dimasukkan sampel kedalam piknometer sampai terisi penuh dan tidak terdapat gelembung. Ditimbang piknometer yang berisi sampel (W) kemudian dibandingkan dengan volume piknometer (V).

Titik Nyala

Pada penentuan titik nyala digunakan alat *Miniflash FLP Touch* yang dapat menentukan titik nyala suatu cairan dan padatan tanpa api yang terbuka sehingga lebih aman digunakan. Dipilih program Hexadecan dengan metode uji ASTM D6450. 1-2 mL sampel dimasukkan kedalam *cup* dengan menggunakan mikropipet. Kemudian dimasukkan kedalam rangkaian alat. Selanjutnya ditekan *lift*, *heater* dan dioperasikan alat untuk menentukan titik nyala. Hasil pengukuran titik nyala akan ditampilkan pada layar monitor instrumen.

Titik Tuang

Penentuan titik tuang dilakukan menggunakan alat *Pour Point Proline Kyromat RP 4050 C LAUDA* dengan metode uji ASTM D97. Sampel yang akan dianalisis dimasukkan kedalam test jar. Kemudian dimasukkan kedalam rangkaian alat *Pour Point Proline Kyromat RP 4050 C LAUDA* yang telah diatur suhunya hingga 0° C dan diamati titik tuang ketika terjadi penurunan setiap 3° C hingga sampel tidak dapat mengalir saat dituang. Jika saat suhu 9° C belum menunjukkan nilai titik tuang, diturunkan suhu batch hingga -18° C dan saat 0° C diturunkan suhu hingga -33° C. Ditentukan nilai titik tuang dengan menambahkan 3° C pada hasil percobaan.

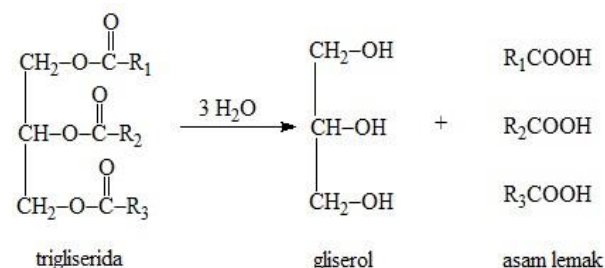
Viskositas

Pada penentuan nilai viskositas digunakan alat *Viscotemp 18 LAUDA* dengan metode uji ASTM D 445. Dihidupkan alat *Vicotemp 18 LAUDA*. Dimasukkan 20-40 mL sampel ke dalam pipa kapiler. Dialirkan sampel menggunakan bulb sampai tanda batas. Dicatat waktu alir hingga tanda batas dengan menggunakan *stopwatch*. Ditentukan nilai viskositas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Pure Plant Oil

Pada perlakuan awal dalam sintesis Pure Plant Oil (PPO) dari minyak biji kapuk ini adalah proses degumming. Pada tahap ini dilakukan dengan mereaksikan 200 gr minyak biji kapuk randu dengan aquadest yang bertujuan untuk menghilangkan gum yang mengandung senyawa fosfatida yang dapat terhidrasi (HF) dan fosfatida yang tidak dapat terhidrasi (NHF). Komponen HF seperti fosfatidilkolina, sedangkan komponen NHF seperti garam kalsium dan magnesium dari asam fosfatidat dan fosfatidil-etanolamin [8]. Gum harus dihilangkan karena dapat menghambat pemisahan minyak dengan sabun yang terbentuk pada tahap saponifikasi. Gum ini berperan sebagai emulsifier



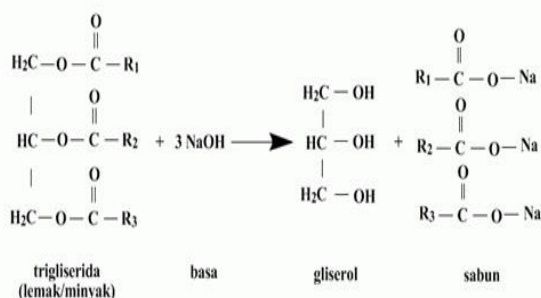
Gambar 1 Reaksi hidrolisis trigliserida

Pada reaksi diatas, dimana ketika trigliserida direaksikan dengan aquadest akan membentuk gliserol dan asam lemak. Pada proses degumming akan menghidrolisis senyawa fosfat dalam minyak. Fosfatida yang terhidrolisis akan membentuk senyawa yang dibedakan menjadi tiga jenis sesuai dengan tingkat kepolarannya : tidak dapat larut dalam air, terdistribusi di kedua fasa dan dapat terlarut dalam air. Senyawa yang tidak dapat larut dalam air akan terpisah dalam proses saponifikasi atau proses netralisasi. Pada tahap netralisasi ini dilakukan dengan cara saponifikasi yaitu mereaksikan asam lemak dengan suatu basa. Basa yang digunakan yaitu NaOH 14° Be atau setara dengan 11,7 %. Berikut adalah tabel derajat baume :

Tabel 1 Derajat Baume NaOH

Degree Baume (°Be)	NaOH (%)
10	8,22
12	9,91
14	11,7
16	13,31
18	15,00
20	16,7
22	18,40
24	20,09
26	21,79
28	23,49
30	25,18

Konsentrasi larutan basa untuk netralisasi dinyatakan derajat Baume (°Be). Minyak dengan asam lemak bebas kecil biasanya menggunakan larutan basa yang lebih rendah (8-12° Be). Sedangkan minyak dengan asam lemak tinggi digunakan larutan basa hingga 20° Be [9]. Berikut adalah persamaan reaksi saponifikasi atau netralisasi yang terjadi :



Gambar 2 Reaksi Saponifikasi Asam Lemak

Proses netralisasi dilakukan dengan penambahan larutan NaOH secara perlahan. NaOH berperan dalam mengurangi zat warna dan kotoran berupa getah dalam minyak. Pada tahap ini terjadi reaksi saponifikasi membentuk sabun.

Tabel 2 Hasil analisis kuantitatif *Pure Plant Oil* minyak biji kapuk randu

No	Massa Minyak kapuk (g)	Massa lapisan Minyak (g)	Massa PPO sebelum dipanaskan (g)	Massa PPO sesudah dipanaskan (g)	kadar Air (g)	Rendemen (%)
1	200	163,59	118,30	117,95	0,35	58,96
2	200	159,75	121,22	118,91	2,31	59,46
3	200	148,38	87,45	87,03	0,42	43,52
4	200	176,27	98,17	97,91	0,26	48,96
5	200	174,93	133,87	133,72	0,15	66,36

Sabun yang terbentuk akan memisahkan senyawa yang tidak larut dalam air dengan membentuk emulsi atau endapan. Dengan proses pemisahan sabun secara mekanis, maka netralisasi dengan menggunakan NaOH dapat menghilangkan fosfatida dan gum pada minyak yang tidak dapat dihilangkan melalui proses degumming dengan menggunakan aquadest.

Pada proses saponifikasi terbentuk dua lapisan, dimana pada lapisan atas yaitu lapisan minyak (fase non-polar) memiliki densitas yang lebih rendah dan lapisan bawah yaitu lapisan air (fase polar) memiliki densitas yang lebih tinggi. Dengan melakukan proses netralisasi atau saponifikasi ini, maka sudah tidak ada gum yang menghambat proses pemisahan sabun pada minyak. Proses netralisasi minyak yang masih mengandung gum akan menambah partikel emulsi dalam minyak sehingga mengurangi persen rendemen yang dihasilkan. Lapisan minyak yang diperoleh kemudian dilakukan penyaringan yang bertujuan untuk memisahkan lapisan minyak dan endapan sabun yang terbentuk. Namun, masih diperoleh NaOH yang terlarut sehingga perlu dilakukan pencucian dengan *aquadest* panas agar dapat menghilangkan NaOH yang terlarut. Dilakukan sebanyak tiga kali pencucian hingga *aquadest* berwarna bening. Tahap terakhir yaitu memanaskan *Pure Plant Oil* (PPO) yang diperoleh untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam minyak. Pemanasan dilakukan pada suhu 100° C dikarenakan air akan menguap pada suhu tersebut. Dilakukan analisa kuantitatif dari persentase rendemen massa PPO sebelum dan sesudah yang bertujuan untuk mengetahui jumlah minyak yang terkonversi menjadi *Pure Plant Oil* (PPO). Berikut adalah tabel hasil analisis kuantitatif *Pure Plant Oil* minyak biji kapuk randu :

Pada tabel diatas, menunjukkan bahwa lapisan minyak yang terbentuk setelah dilakukan pemisahan dengan aquadest diperoleh hasil yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh kecepatan pengadukan dan suhu reaksi pada proses degumming serta proses pemisahan yang kurang sempurna sehingga menghasilkan beberapa lapisan minyak yang kuantitasnya berkurang cukup jauh dari nilai massa awal minyak kapuk. Massa PPO yang sebelum dipanaskan tersebut telah melewati proses degumming dan netralisasi (saponifikasi) juga terdapat beberapa massa yang rendah dikarenakan masih terdapat banyaknya gum yang akan menambah partikel emulsi dalam minyak sehingga mengurangi persen rendemen yang dihasilkan. Kadar air yang diperoleh pada sintesis PPO rendah, hal ini menunjukkan bahwa dengan

adanya faktor pemanasan pada suhu 100° C dapat menurunkan kadar air pada minyak. Sintesis Pure Plant Oil dari minyak biji kapuk randu ini menghasilkan nilai rendemen yang berbeda. Hal ini dikarenakan oleh adanya beberapa faktor terutama masih adanya kandungan air dan asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak saat reaksi terjadi. Dengan adanya kandungan air dan asam lemak bebas akan menurunkan tingkat kemurnian dari Pure Plant Oil. Pada sintesis PPO ini terlihat adanya rendemen yang rendah seperti 43,82 % dan 48,96 %, hal ini dipengaruhi oleh reaksi saponifikasi yang terjadi kurang sempurna sehingga asam lemak yang terikat pada sabun akan mengalami peningkatan dan mengakibatkan nilai rendemen yang rendah.

Tabel 3 Perbandingan Hasil analisa kualitatif dengan standar mutu

Sampel	FFA (%)	Densitas (g/ml)	Titik Nyala (°C)	Titik Tuang (°C)	Bilangan asam (mg KOH/g)	Viskositas (mm ² /s)
SNI minyak kapuk 01-1678-1992	7,55-9,26	0,917	308	-4	11,18	54,26
SNI PPO 7431 : 2008	3,56	0,9-0,93	220	-6	2	36
Minyak kapuk	4,04	0,8923	> 200	-3	8,0784	41,12
Pure Plant Oil (PPO)	1,01	0,8985	> 200	-6	2,0196	40,05

terkandung dalam minyak atau lemak. FFA merupakan hasil degradasi dari trigliserida,

Kadar FFA

Berdasarkan tabel diatas, untuk kadar FFA yang diperoleh dari sampel PPO lebih rendah dibandingkan dengan sampel awal sebelum disintesis menjadi PPO yaitu minyak biji kapuk randu. Penentuan kadar FFA yang dilakukan menggunakan titrasi netralisasi dimana menggunakan basa sebagai titran dan asam sebagai titrat. Dilakukan secara duplo untuk masing-masing sampel dan kedua sampel memiliki kadar FFA yang sama dari perlakuan pertama dan kedua untuk setiap sampel. Minyak Biji Kapuk menghasilkan kadar FFA sebesar 4,04 % dan Pure Plant Oil sebesar 1,01 %. Kadar FFA ini menunjukan jumlah asam lemak bebas yang

sebagai akibat dari kerusakan minyak [10]. Semakin tinggi kadar FFA maka semakin tinggi tingkat kerusakan minyak. Berdasarkan hasil yang diperoleh setelah minyak biji kapuk disintesis menjadi Pure Plant Oil (PPO) dapat menurunkan kadar FFA dikarenakan adanya reaksi netralisasi dengan senyawa basa. Nilai kadar asam lemak bebas yang tinggi akan menurunkan kualitas dari PPO yang dihasilkan, dimana akan meningkatkan resiko kerusakan pada mesin diesel.

Densitas

Analisis densitas minyak kapuk dan PPO dilakukan dengan menggunakan teknik yang sederhana yaitu menggunakan alat piknometer. Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur densitas atau massa jenis suatu fluida. Alat ini berbentuk botol kecil yang terbuat dari kaca dengan tutup yang panjang dan terdapat lubang berbentuk saluran kecil. Prinsip metode piknometer ini didasarkan atas penentuan massa cairan dan penentuan ruang yang ditempati cairan. Densitas atau massa jenis merupakan perbandingan antara massa dengan volume sampel pada suhu yang sama. Massa jenis biasanya diukur pada suhu 25° C, akan tetapi dapat pula diukur pada suhu 40° C atau 60° C untuk analisis minyak dengan titik cair yang tinggi [11]. Densitas yang rendah akan meningkatkan kemampuan bahan bakar dan densitas meningkat seiring dengan meningkatnya ikatan rangkap dan berkurangnya panjang rantai [12].

Pada penentuan densitas, menggunakan piknometer berukuran 50 mL dalam keadaan yang bersih dan kering agar hasil yang diperoleh akurat. Penggunaan piknometer untuk penentuan densitas difokuskan pada proses penimbangan, mulai dari penimbangan massa piknometer kosong dan massa piknometer berisi sampel. Untuk sampel yang akan dianalisis dimasukkan kedalam piknometer dan ditutup hingga tidak adanya gelembung yang terbentuk karena akan mempengaruhi perhitungan massa pada sampel. Menurut [13], rumus untuk penentuan densitas suatu sampel pada piknometer :

$$\rho = \frac{W_t - W}{V}$$

Dimana W_t merupakan berat piknometer berisi sampel, W merupakan berat piknometer kosong dan V adalah volume kapasitas piknometer.

Berdasarkan penentuan densitas dilakukan secara duplo untuk masing-masing sampel. Untuk nilai pada tabel merupakan konversi rata-rata dari pengulangan secara duplo. Pada sampel minyak kapuk dan Pure Plant Oil (PPO) terlihat nilai densitas cukup mendekati dari standar mutu masing-masing, minyak biji kapuk sebesar 0,8923 g/mL dan Pure Plant Oil sebesar 0,8985 g/mL. Ketidakakuratan ini dipengaruhi oleh proses pengeringan pada piknometer yang kurang sempurna setelah dilakukan pencucian sehingga kandungan air dan pengotor lainnya serta asam lemak yang belum terkonversi menjadi Pure Plant Oil masih terkandung di dalam piknometer.

Titik Nyala

Kemudian, dilakukan analisis titik nyala dengan menggunakan alat Miniflash FLP Touch. Titik nyala adalah temperatur terendah yang harus dicapai dalam pemanasan bahan bakar untuk menimbulkan uap yang dapat terbakar ketika disingungkan dengan nyala uap. Miniflash FLP Touch adalah alat penguji titik nyala yang dirancang secara unik untuk menentukan titik nyala cairan dan padatan, menggunakan metode pendeteksian titik nyala Grabner untuk mengukur peningkatan tekanan di dalam ruang yang tertutup secara terus-menerus, dipicu oleh busur listrik yang dikendalikan energi. Pemanasan ruang uji dari atas agar menghindari kondensasi senyawa volatil tinggi, secara signifikan meningkatkan hasil pengujian.

Miniflash FLP Touch ini memiliki desain cawan yang tertutup dan volume sampel kecil hanya 1-2 mL akan menghasilkan tingkat keamanan maksimum dan mengurangi limbah sampel. Pendinginan termoelektrik yang cepat pada akhir pengujian dan penanganan instrumen yang cepat dan mudah sehingga menghemat waktu dalam perlakuan. Miniflash FLP Touch ini dilengkapi Layar sentuh yang nyaman digunakan pada perangkat lunak Microsoft Windows® dan memiliki fitur navigasi intuitif yang tidak memerlukan pelatihan untuk pengujian titik-nyala, Miniflash FLP Touch dapat menganalisis titik nyala dari 0 hingga 200 °C, terhubung dengan USB, Ethernet, LIMS, dan PC serta kapasitas penyimpanan yang hampir tidak terbatas untuk program dan hasil. Alat ini memiliki fleksibilitas dalam mengontrol parameter seperti laju pemanasan, energi pengapian dan jumlah oksigen yang ada dalam ruang pembakaran.

Pada percobaan titik nyala untuk kedua sampel yaitu minyak kapuk dan Pure Plant Oil menghasilkan "No Flash". Hal ini dikarenakan kapasitas dari alat Miniflash FLP Touch hanya sampai pada suhu 200° C. Hal ini sesuai dengan penelitian [14], titik nyala Pure Plant Oil 220° C sehingga tidak dapat terbaca pada alat. Sama halnya dengan minyak biji kapuk yang juga menghasilkan "No Flash". Sesuai dengan penelitian Handoyo et al [2], titik nyala minyak biji kapuk sebesar 308° C. Berdasarkan hasil titik nyala kedua sampel sesuai dengan literatur tetapi untuk angka pasti dari titik nyala tidak dapat ditentukan dikarenakan kapasitas alat memiliki limit temperature 200° C dan dapat diasumsikan bahwa kedua sampel memiliki titik nyala > 200° C.

Apabila flash point bahan bakar tinggi, akan memudahkan penanganan dan penyimpanan bahan bakar dan tidak perlu disimpan pada suhu yang terlalu rendah [15]. Flash point yang terlalu rendah akan berbahaya dan berisiko tinggi bagi proses penyalaan sehingga harus disimpan pada suhu rendah [16]. Titik nyala yang terlalu rendah akan menyebabkan terjadinya detonasi yaitu ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke ruang pembakaran. Berdasarkan nilai titik nyala yang tinggi, dapat diartikan bahwa PPO lebih aman digunakan dibandingkan dengan biodiesel.

Titik Tuang

Analisis selanjutnya yang dilakukan adalah Pour Point (titik tuang) menggunakan alat Pour Point Proline Kyromat RP 4050 C LAUDA. Titik tuang adalah temperatur dimana bahan bakar mulai membeku atau berhenti mengalir. Hal ini dikarenakan terbentuknya kristal yang menyumbat aliran bahan bakar. Titik tuang yang terlalu tinggi akan menyebabkan kesulitan dalam pengaliran bahan bakar. Titik tuang dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan, jika semakin tinggi ketidakjenuhan maka titik tuang akan semakin rendah dan dipengaruhi oleh panjangnya rantai karbon, jika semakin panjang rantai karbon maka titik tuang akan semakin tinggi.

Pada alat Pour Point Proline Kyromat RP 4050 C LAUDA ini menggunakan metanol sebagai media pendingin agar suhu dapat mengalami penurunan. Alat ini dilengkapi test jar sebagai wadah sampel yang ditutupi gabus dan terdapat termometer, test jar tersebut dimasukkan ke dalam rangkaian alat. Dilakukan pengaturan suhu pada alat pour point sebesar 0° C dan dilakukan pengamatan setiap 3° C sesuai dengan ASTM D97.

Berdasarkan hasil analisis titik tuang sampel minyak biji kapuk dan Pure Plant Oil masing-masing -3° C dan -6° C. Dari hasil analisis tersebut, dapat dilihat bahwa dengan perlakuan sintesis PPO, nilai titik tuang minyak biji kapuk dapat mengalami penurunan. Semakin rendah titik tuang akan memudahkan proses pengaliran bahan bakar.

Bilangan Asam

Selain itu, juga dilakukan analisis bilangan asam menggunakan teknik titrasi alkalimetri

dengan menggunakan titran KOH dengan konsentrasi 0,12 N. Bilangan asam merupakan bilangan yang menunjukkan banyaknya asam lemak bebas dalam minyak akibat terjadi reaksi hidrolisis pada minyak dan dinyatakan dengan mg basa per 1 gram minyak. Bilangan ini menjadi parameter penting dalam penentuan kualitas minyak [17]. Berikut adalah rumus penentuan bilangan asam:

$$\text{Bilangan asam} = \frac{\text{Vol KOH} \times M \text{ KOH} \times BM \text{ KOH}}{\text{Berat sampel}}$$

Penggunaan BM KOH sebagai faktor konversi adalah untuk mengubah nilai kadar asam lemak bebas menjadi bilangan asam [18]. Besar kecilnya bilangan asam tergantung pada kemurnian minyak tersebut. Bilangan asam lemak yang tinggi menunjukkan kadar asam lemak bebas yang tinggi pula dari hidrolisa minyak atau lemak.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan pada kedua sampel diperoleh hasil untuk minyak biji kapuk sebesar 8,0784 mg KOH/g dan PPO sebesar 2,0196 mg KOH/g. Semakin tinggi bilangan asam, maka semakin rendah kualitasnya. Hal ini menunjukkan kualitas dari PPO lebih baik dibandingkan minyak biji kapuk.

Viskositas

Pada analisis viskositas menggunakan alat *Viscotemp 18 LAUDA*. Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dari cairan. Semakin tinggi nilai viskositas maka semakin kental dan kemampuan mengalir menjadi semakin berkurang. Viskositas suatu bahan bakar menjadi parameter yang sangat penting karena akan berpengaruh pada kinerja injektor mesin [19]. Viskositas bahan bakar perlu dibatasi karena viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar minyak, [20].

Alat *Viscotemp 18 LAUDA* terbuat dari kaca yang tahan pecah berbentuk bulat, sirkulasi sangat baik, resisten terhadap bahan kimia, dapat melakukan lima kali pengukuran sekaligus dan stabilitas suhu serta

homogenitasnya tinggi. Berdasarkan analisis viskositas ini dilakukan dua kali pengulangan, pada pengulangan pertama diperoleh waktu sebesar 973,78 s dan pengulangan kedua diperoleh waktu sebesar 974,47 s. Dari hasil waktu yang diperoleh dapat dihitung nilai viskositas dengan rumus:

$$\text{Viskositas} = t \times \text{koefisien viskositas}$$

Berdasarkan waktu yang dihasilkan dari dua pengulangan, diperoleh viskositas PPO dengan rata-rata sebesar 40,05 mm²/s dan minyak kapuk sebesar 41,12 mm²/s. Nilai viskositas berbanding lurus dengan densitas. Semakin tinggi nilai densitas maka viskositas juga semakin tinggi. Jika dibandingkan dengan SNI PPO, nilai viskositas dari percobaan melewati standar mutunya. Hal ini dipengaruhi oleh belum terkonversinya asam lemak menjadi PPO secara maksimal.

SIMPULAN

Proses sintesis *Pure Plant Oil* dari minyak biji kapuk dilakukan dengan dua tahap utama yaitu dengan *degumming* dan netralisasi (saponifikasi). Dari beberapa kali perlakuan diperoleh rendemen sebesar 43,52 – 87,93 %. Analisis karakteristik minyak biji kapuk randu dan PPO dari minyak biji kapuk randu yang dilakukan adalah penentuan kadar FFA, titik nyala, titik tuang, densitas dan bilangan asam. Pada kadar FFA diperoleh minyak kapuk sebesar 4,04 % dan PPO sebesar 0,84 %. Pada analisis titik nyala kedua sampel > 200° C. Analisis titik tuang, minyak kapuk -3° C dan PPO -6° C. Analisis densitas, minyak kapuk 0,8923 gr/ml dan PPO 0,8985 gr/ml. Analisis bilangan asam, minyak kapuk 8,0764 mg KOH/g dan PPO 2,0196 mg KOH/g. Viskositas PPO sebesar 40,05 mm²/s.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan selesainya penelitian ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang terlibat dalam proses penelitian ini khususnya kepada pihak Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK), BPPT, Serpong yang telah berkenan untuk menjadi wadah bagi penulis untuk melaksanakan penelitian sehingga dapat berjalan dengan baik.

REFERENSI

- [1] Susilowati. 2006. Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk dengan Katalis Zeolit. *Jurnal Teknik Kimia*. 1(1): 10-14.
- [2] Handoyo, R., A.A. Anggraini dan S. Anwar. 2007. "Biodiesel dari Minyak Biji Kapok". *Jurnal Enjiniring Pertanian*. 1(1): 57-64.
- [3] Prihandana, R dan R. Hendroko 2008. *Energi Hijau*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [4] Andaka, G. 2008. Hidrolisis Minyak Biji Kapuk dengan Katalisator Asam Klorida. *Jurnal Rekayasa Proses*. 2(2): 45-48.
- [5] Puspadiman, H. 2013. Pengaruh Jenis Pelarut dan Waktu Ekstraksi terhadap Kandungan Asam Linoleat Minyak Biji Kapuk (Ceiba Pentrada) sebagai Minyak Pangan. *Skripsi*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- [6] Santoso, M.P.B, E.B Susatyo dan A.T. prasetya. 2012. Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk dengan Katalis Zeolit Sekam Padi. *Indonesian Journal of Chemistry Science* 1. (2), 98-103.
- [7] Prasetyo, J dan M.R. Afriansyah. 2017. Optimasi Kebutuhan H₃PO₄ Pada Pembuatan PPO Nyamplung Untuk Biofuel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*. 1(2).
- [8] Soerawidjaja, T.H., A. Tahar., U.W. Siagian., T. Prakoso., I.k. Reksowardojo dan K.S. Permana. 2005. "Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia. Didalam: Haryadi, P., N. Andarwulan., L. Nuraida dan Y. Sukmawati. Kajian Kebijakan dan Kumpulan Artikel Penelitian; Bogor: Kementrian Riset dan Teknologi RI, MAKSI, SEAFast, IPB. 3-107.
- [9] Bernardini, E. 1983. *Vegetable Oils an Fats Processing*. Italy: Intertamps House.
- [10] Armstrong, F. B. 1995. *Buku Ajar Biokimia*. Jakarta: EGC.
- [11] Ketaren, S. 2008. *Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI-Press.
- [12] Mittelbach, M dan C. Remschmidt. 2004. *Biodiesel: The Comprehensive Handbook (Firs ad)*. Graz: Boersedruck Ges. M.b.H.
- [13] Kironoto, A. 2018. *Statistika Fluida*. Yogyakarta: UGM-Press.

- [14] Lawlor, V dan A.G. Olabi 2015. Review of Scientific Research Regarding PPO Tallow and RVO as a Diesel Engine Fuel. *Fuel*. 145: 25-38.
- [15] Mukhibin, 2010. *Mengubah minyak Jelantah Menjadi Solar*. Yogyakarta: Pustaka Solomon.
- [16] Hardjono, A. 2000. *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta: UGM-Press.
- [17] Agoes, G. 2008. *Pengembangan Sediaan Farmasi*. Bandung: ITB.
- [18] Siti, N.W., T. Dewanti dan Kuntanti. 2001. "Studi Tingkat Kerusakan dan Keamanan Pangan Minyak Goreng Bekas (Kajian dari Perbedaan jenis Minyak Goreng dan Bahan Pangan yang digoreng". *Laporan Penelitian*. Malang: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.
- [19] Riyanti, F., L.H. Poedji dan D.L Catur. 2012. Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis KOH Pada Pembuatan Metol Ester dari Minyak Biji Ketapang (*Terminalia Cetappa Linn*). *Jurnal Penelitian Sains*. 15(2C): 74-78.
- [20] Sastrohamdjojo, H. 2001. *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.

Senyawa Antimalaria dari Fraksi Diklorometana Rhizoma Kecombrang (*Etlingera elatior*)

ARI WIDIYANTORO,^{1*} WOLLY CANDRAMILA,² MUHAMMAD AKIB YUSWAR³

¹Program Studi Kimia, FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak

²Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Tanjungpura, Pontianak

³Program Studi Farmasi, FK Universitas Tanjungpura, Pontianak

* alamat email korespondensi: ariyant2@yahoo.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: <i>Etlingera elatior</i>; rhizoma; antimalarial; fraksi diklorometana</p>	<p>Indonesia merupakan salah satu negara yang dipetakan oleh WHO sebagai endemik malaria. Peneliti banyak melakukan eksplorasi bahan alam untuk menemukan senyawa antimalaria baru seiring dengan banyaknya obat antimalaria yang resisten. Kecombrang merupakan salah satu tanaman yang bagian rhizomanya digunakan oleh sebagian masyarakat Kalimantan Barat sebagai obat tradisional malaria. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh senyawa yang bersifat antimalaria terhadap <i>Plasmodium falciparum</i> strain 3D7. Metode penelitian dimulai dengan melakukan ekstraksi secara maserasi menggunakan metanol. Ekstrak kental metanol kemudian dilakukan partisi secara bertingkat menggunakan <i>n</i>-heksana, diklorometana dan etil asetat. Fraksi etil asetat dilanjutkan dengan kromatografi kolom vakum dan gravitasi. Isolat yang diperoleh dilakukan skrining fitokimia dan dianalisis spektroskopi IR (KBr) dan NMR serta diuji antimalaria secara <i>in vitro</i> terhadap <i>Plasmodium falciparum</i> strain 3D7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat positif terpenoid dan secara spektroskopi IR menunjukkan adanya gugus fungsional OH, C-H alifatik, C=C dan NMR menunjukkan pergeseran kimia (ppm) 1-3 ppm untuk metil dan 3-5 ppm untuk metin. Uji antimalaria terhadap <i>Plasmodium falciparum</i> strain 3D7 menunjukkan IC₅₀ 15,90 µg/mL. Hal ini menunjukkan bahwa isolat merupakan senyawa antimalaria kategori sedang.</p>
<p>Keywords: <i>Etlingera elatior</i>; rhizome; antimalarial; dichloromethane fraction</p>	<p>Indonesia is one of the countries mapped by WHO as malaria endemic. Researchers have explored many natural materials to find new antimalarial compounds along with the number of resistant antimalarial drugs. Kecombrang is a plant whose rhizome part is used by part of the people of West Kalimantan as a traditional medicine for malaria. This study aim to obtain compound that is antimalarial against <i>Plasmodium falciparum</i> strain 3D7. The research method begins with extraction by maceration using methanol. The methanol extracts were then stratified partitions using <i>n</i>-hexane, dichloromethane and ethyl acetate. The ethyl acetate fraction was continued by vacuum and gravity chromatography. The isolate obtained were subjected to phytochemical screening and analyzed by IR (KBr) and NMR spectroscopy and antimalarial tested <i>in vitro</i> against <i>Plasmodium falciparum</i> strain 3D7. The results showed that terpenoid positive isolate and spectroscopically showed IR presence of OH functional groups, aliphatic C-H, C = C and NMR showed chemical shifts (ppm) 1-3 ppm for methyl and 3-5 ppm for methin. Antimalarial tests on <i>Plasmodium falciparum</i> strain 3D7 showed IC₅₀ 15.90 µg / mL. This shows that the isolate is a medium category antimalarial compound.</p>

PENDAHULUAN

Tanaman Kecombrang (*Etlingera elatior* Jack) merupakan salah satu keanekaragaman hayati yang telah lama digunakan sebagai komponen obat tradisional. Tanaman ini banyak

tumbuh di daerah dengan iklim tropis dan subtropis yang tersebar dari Asia Selatan sampai Tenggara, Afrika dan Amerika Latin. Di Indonesia, tanaman ini banyak ditemukan di pulau Sumatera, Jawa, Sulawesi dan Kalimantan. Di Provinsi Kalimantan Barat terutama Kabupaten

Mempawah dan Kubu Raya, sebagian masyarakatnya telah menggunakan bagian rhizoma dari Kecombrang ini untuk pengobatan malaria.

Seluruh bagian pada tanaman Kecombrang dapat digunakan sebagai bahan baku obat tradisional. Berdasarkan beberapa penelitian menunjukkan bahwa bagian akar segarnya mengandung berbagai senyawa yaitu 1,7-bis(4-hidroksifenil)-2,4,6-heptatrienon, demetoksikurkumin, 1,7-bis(4-hidroksifenil)-1,4,6-heptatrien-3-on, 16-hidroksilabda-8(17),11,13-trien-16,15-olid, stigmast-4-en-3-on, stigmast-4-ene-3,6-dion, stigmast-4-en-6b-ol-3-on, dan 5 α ,8 α -epidioksiergosta-6,22-dien-3 β -ol [1]. Sementara pada bagian bunga telah ditemukan golongan senyawa flavonoid, terpenoid, saponin dan tannin [2]. Senyawa terpenoid yang terdapat dalam bagian bunga Kecombrang antara lain karyofilen dan α -pinen [3,4]. Kandungan minyak atsiri tanaman Kecombrang terdapat pada bagian rhizoma, bunga dan akar [5,6].

Sementara itu secara farmakologi, beberapa penelitian mengenai aktivitas biologik dari ekstrak Kecombrang yang telah dilaporkan meliputi antioksidan, antibakteri, antijamur, sitotoksik, hepatoprotektif dan inhibitor enzim tirosinase [7]. Aktivitas antioksidan ditunjukkan oleh ekstrak metanol bunga, rhizoma dan akar Kecombrang. Aktivitas antioksidan tersebut dideteksi melalui pemerangkapan radikal bebas dan penghambatan enzim [8,9]. Ekstrak bunga dan akar Kecombrang dilaporkan menunjukkan aktivitas sitotoksik terhadap sel kanker payudara MCF-7 [8,1].

Sampai saat ini belum ditemukan publikasi tentang senyawa antimalarial dari fraksi diklorometana rhizoma Kecombrang terhadap *Plasmodium falciparum* 3D7. Informasi ini sangat penting untuk mencari senyawa antimalarial pendamping artemisin dan turunannya yang sekarang menjadi obat antimalarial utama.

EKSPERIMEN

Lokasi Penelitian dan Sampel

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Biologi FMIPA Universitas Tanjungpura dan Laboratorium ITD FK Universitas Airlangga. Analisis IR dan NMR dilakukan di LIPI Serpong, Tangerang, Banten.

Sampel penelitian berupa rhizoma Kecombrang sebanyak 10 kg diperoleh dari Kecamatan Rasau Jaya, Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Bagian rhizoma

dilakukan pembersihan dan pencucian kemudian dilakukan pengeringan secara kering angin. Pengeringan angin dilakukan untuk menghindari kerusakan senyawa yang dikandungnya.



Gambar 1 Tanaman Kecombrang (dokumentasi penelitian)

Ekstraksi Maserasi

Sampel rhizoma Kecombrang yang telah dilakukan proses sortasi kemudian dibersihkan dan dikeringanginkan pada suhu kamar selama beberapa hari. Saat pengeringan harus dijaga agar tidak terkena jamur dan cemarkan lainnya. Setelah kering diblender dan diayak dengan ukuran 60 mesh. Serbuk sampel yang diperoleh sebanyak 2,5 kg selanjutnya dimaserasi dengan metanol teknis yang telah redistilasi pada suhu kamar selama 3 x 24 jam. Seluruh filtrat yang diperoleh dikumpulkan dan dipekatkan dengan evaporator, selanjutnya ditimbang untuk mengetahui rendemennya.

Ekstraksi Partisi

Ekstrak kental metanol yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan pemisahan secara ekstraksi partisi dengan pelarut bergradien secara kepolaran. Pelarut yang digunakan meliputi *n*-heksana, diklorometana dan etil asetat. Masing-masing fraksi selanjutnya dilakukan pemekatan dengan *rotary evaporator* dan dihitung rendemennya.

Pemisahan secara Kromatografi

Sebelum dilakukan pemisahan secara kromatografi untuk mendapatkan senyawa antimalaria maka seluruh ekstrak dan fraksi hasil partisi dilakukan uji fitokimia dan uji antimalaria terlebih dahulu. Berdasarkan uji fitokimia dan uji antimalaria terlihat bahwa fraksi diklorometana mempunyai aktivitas yang potensial. Selanjutnya terhadap fraksi diklorometana dilakukan pencarian eluen secara KLT untuk memperoleh eluen yang tepat untuk kromatografi kolom vakum. Hasil kromatografi kolom vakum

kemudian dipilih fraksi yang menunjukkan pemisahan yang terbaik dan jumlahnya cukup banyak. Fraksi yang terpilih dari kromatografi kolom vakum selanjutnya dilakukan kromatografi kolom gravitasi. Eluen kromatografi kolom gravitasi juga dilakukan secara KLT. Fraksi dari hasil kromatografi kolom gravitasi selanjutnya dilakukan uji kemurnian secara KLT satu dan dua dimensi.

Skrining Fitokimia

Skrining fitokimia dilakukan terhadap ekstrak metanol hasil maserasi dan fraksi-fraksi hasil partisi serta isolat. Golongan senyawa yang dideteksi adalah flavonoid, terpenoid, tanin, steroid dan saponin. Skrining fitokimia dilakukan dengan metode KLT dilanjutkan dengan penyemprotan penampak noda.

Uji Antimalaria

Ekstrak metanol hasil maserasi dan fraksi-fraksi hasil partisi serta isolat dilakukan uji antimalaria terhadap *Plasmodium falciparum* strain 3D7 (galur yang sensitif terhadap klorokuin). Uji aktivitas antimalaria pada seluruh ekstrak menggunakan kultur *Plasmodium falciparum* strain 3D7 yang telah dibiakkan secara sinambung dengan teknik modifikasi dari Trager dan Jensen. Uji antimalaria dilakukan tiga kali dengan tiga kali replikasi memakai lempeng sumur mikro 96 lubang. Setiap sumur berisi 100 μ L medium lengkap dengan eritrosit 5 % dan parasitemia 3 %. Sediaan uji dengan konsentrasi 20, 16, 12, 8, 4, 2 μ g/mL dimasukkan 100 μ L pada setiap lempeng sumur. Setelah diinkubasi selama 24 dan 72 jam, hasil dipanen dan dibuat sediaan lapisan darah tipis yang dicat dengan pewarna Giemsa. Selanjutnya dihitung jumlah skizon yang hidup dibawah mikroskop. Persentase kematian dihitung dengan cara membandingkan antara jumlah skizon pada zat uji dengan kontrol terhadap 200 aseksual *Plasmodium falciparum*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil maserasi dengan metanol diperoleh ekstrak kental metanol dengan rendemen 18,89% terhadap sampel serbuk rhizoma Kecombrang. Ekstrak kental metanol berwarna coklat kehitaman dan berbau khas. Fraksi kental diklorometana hasil partisi berwarna coklat cerah dengan rendemen

11,12% terhadap ekstrak kental metanol dan berbau khas.

Selanjutnya ekstrak kental metanol hasil maserasi dan fraksi-fraksi hasil partisi serta isolat dilakukan skrining fitokimia dengan metode KLT yang dilanjutkan dengan penyemprotan penampak noda. Tabel 1 menunjukkan hasil skrining fitokimia.

Tabel 1 Skrining Fitokimia Ekstrak Metanol Hasil Maserasi, Fraksi Diklorometana dan Isolat

Sampel	Fv	Tn	St	Tp	Sp
EE	+	+	+	+	+
ED	-	-	-	+	+
Isolat	-	-	-	+	-

Keterangan : EE = Ekstrak Etanol; ED=Ekstrak Diklorometana; Fv = Flavonoid; Tn = Tanin; St = Steroid; Tp = Terpenoid; Sp = Saponin.

Berdasarkan hasil skrining fitokimia terlihat bahwa ekstrak kental metanol hasil maserasi memiliki variasi golongan senyawa yang lebih banyak dibandingkan golongan senyawa pada fraksi diklorometana. Hal ini diprediksi karena maserasi dengan metanol mampu melakukan proses ekstraksi secara menyeluruh terhadap senyawa polar dan nonpolar serta berlangsung secara cepat. Sementara fraksi diklorometana telah mengalami pengurangan komponen metabolit sekundernya akibat pemisahan secara partisi.

Selanjutnya ekstrak kental metanol dan fraksi diklorometana serta isolat dilakukan uji antimalaria terhadap *Plasmodium falciparum* strain 3D7 (sensitif terhadap klorokuin). Aktivitas antimalaria kedua ekstrak tersebut disajikan pada Tabel 2.

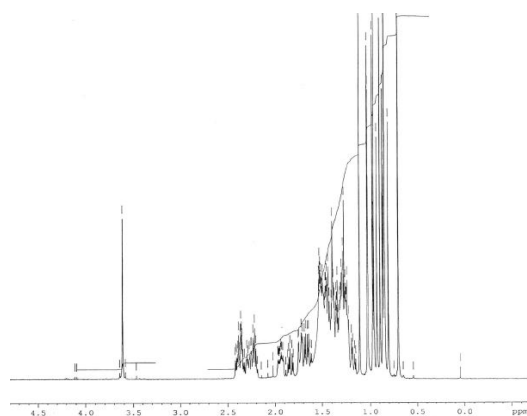
Tabel 2 Aktivitas Antimalaria Ekstrak Metanol Hasil Maserasi, Fraksi Diklorometana dan Isolat

No.	Sampel	Aktivitas Antimalaria (IC ₅₀ μ g/mL)
1.	Ekstrak Metanol	10,05
2.	Fraksi Diklorometana	6,32
3.	Isolat	15,90

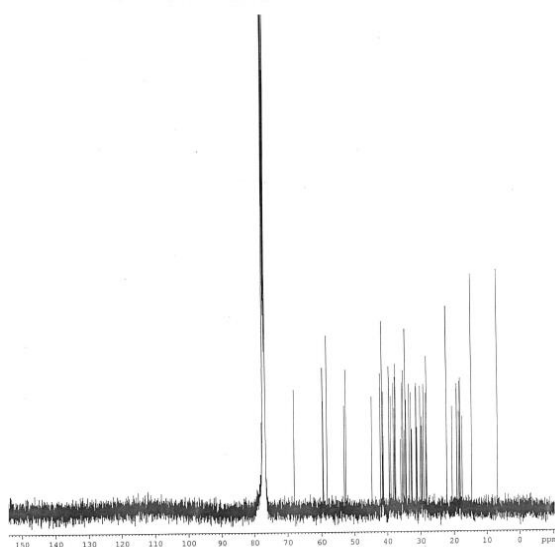
Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa aktivitas antimalaria fraksi diklorometana hasil partisi lebih baik dibandingkan dengan ekstrak

metanol hasil maserasi. Hal ini diprediksi karena senyawa utama yang bertanggungjawab terhadap antimalaria terdapat di fraksi diklorometana. Golongan senyawa yang terdapat pada ekstrak metanol hasil maserasi lebih variatif sehingga efek antagonisnya lebih tinggi. Selain itu mekanisme antimalarial yang dilalui juga lebih banyak. Sementara pada isolat terlihat aktivitas antimalarianya lebih rendah dibandingkan aktivitas antimalaria pada ekstrak metanol hasil maserasi dan fraksi diklorometana hasil partisi. Hal ini menunjukkan isolat ini diprediksi bukan senyawa utama yang bertanggungjawab antimalarial pada fraksi diklorometana.

Selanjutnya isolat hasil kromatografi kolom vakum dan kromatografi hasil partisi dilakukan analisis IR dan NMR. Berdasarkan hasil analisis IR diperoleh bahwa isolat mengandung gugus fungsi gugus fungsional OH, C-H alifatik, C=C dan NMR menunjukkan pergeseran kimia (ppm) 1-3 ppm untuk metil dan 3-5 ppm untuk metin.



Gambar 1 Spektrum ^1H -NMR isolat



Gambar 2 Spektrum ^{13}C -NMR

Berdasarkan spektrum ^1H -NMR terlihat adanya proton sejumlah 29. Berdasarkan spektrum ^{13}C -NMR terlihat adanya minimal 35 karbon. Pada pergeseran 212 ppm terlihat adanya karbon yang karakteristik karboksilat. Berdasarkan perbandingan dengan beberapa literatur diprediksi isolat ini merupakan senyawa asam 3-hidroksi-isonikotinat yang merupakan golongan terpenoid.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa isolat merupakan senyawa golongan terpenoid yaitu asam 3-hidroksi-isonikotinat dengan aktivitas antimalarial kategori sedang

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada DRPM Kemenristekdikti untuk pendanaan Penelitian Terapan 2019 dan Pusat Penelitian Kimia LIPI, Serpong, Tangerang, Banten.

REFERENSI

- [1] Habsah M, Ali AM, Lajis NH, Sukari MA, Yap YH, Kikuzaki H, Nakatani N, "Antitumour promoting and cytotoxic constituents of *Etlingera elatior*. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, vol. 12, no. 1, pp 6-12, 2005.
- [2] Lachumy SJT, Sasidharan S, Sumathy V, Zuraini Z. " Pharmacological activity, phytochemical analysis and toxicity of methanol extract of *Etlingera elatior* (torch ginger) flowers. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, pp 769-774, 2010
- [3] Maimulyanti A, Prihadi R., "Chemical composition, phytochemical and antioxidant activity from extract of *Etlingera elatior* flower from Indonesia. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 3, no. 6, pp 233-238, 2015.
- [4] Anzlan A, Rashidah S, Saari N, Sapawi CWNS, Hussin AS., " Chemical composition and antioxidant activity of torch ginger (*Etlingera elatior*) flower extract. *Food and Applied Bioscience Journal*, vol. 5, no. 1, pp 32-49, 2007.
- [5] Jaafar FM, Osman CP, Ismail NH, Awang K., " Analysis of essential oils of leaves, stems,

- flowers and rhizomes of *Etlingera elatior* (Jack) R.M.Smith. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, vol. 11, no.1, pp 269-273, 2007.
- [6] Khor PY, Mohamed FSN, Ramli I, Nor NFAM, Razali SKCM, Zainuddin JA, Jaafar NSM., "Phytochemical, Antioxidant and Photo Protective Activity Study on Bungan Kantan (*Etlingera elatior*). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7(8) : 209-213, 2017
- [7] Chan EWC, Lim YY, Wong SK. "Phytochemistry and pharmacological properties of *Etlingera elatior* : A Review. *Pharmacognosy Journal*, vol. 3 no.22, pp 6-10, 2011.
- [8] Ghasemzadeh A, Jaafar HZE, Rahmat A, Ashkani S.. "Secondary metabolites constituents and antioxidant, anticancer and antibacterial activities of *Etlingera elatior* (Jack) R.M.Sm Grown in different locations of Malaysia. *BMC Complementary & Alternative Medicine*, vol. 15 no. 335, pp 2-10, 2015.
- [9] Jackie T, Haleagrahara N, Chakrawarthy S., "Antioxidant effects of *Etlingera elatior* flower extract against lead acetate-induced perturbations in free radical scavenging enzymes and lipid reroxidation in Rats. *BMC Research Notes*, vol. 467 pp. 1-8, 2011

Kajian Kereaktifan Molekul Hasil Isolasi Kulit Batang Turi : *Sesbagrandidflorain*

MITA NURHAYATI,¹ MUHAMAD ABDULKADIR MARTOPRAWIRO^{1 *}

¹Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No.10 Kota Bandung, Jawa Barat 40132

* alamat email korespondensi: mita.nurhayati@students.itb.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: Sesbagrandidflorain; kimia komputasi; DFT; kereaktifan kimia; indeks Fukui.</p>	<p>Senyawa turunan benzofuran merupakan senyawa yang potensial dalam pengembangan <i>therapeutic agents</i> karena sifat bioaktifitasnya. Turunan benzofuran banyak ditemukan dari hasil isolasi bahan alam. Salah satu turunan benzofuran yang baru ditemukan dari tanaman asal Indonesia adalah sesbagrandidflorain A dan B yang berasal dari ekstraksi kulit batang tanaman <i>Sesbania grandiflora</i> (turi) menggunakan etil asetat. Untuk mengembangkan sesbagrandidflorain menjadi berbagai <i>therapeutic agents</i> yang potensial, kereaktifannya perlu diketahui terlebih dahulu. Pada penelitian ini, dilakukan kajian kereaktifan sesbagrandidflorain B secara teoretis menggunakan metode komputasi. Optimasi geometri seluruh spesi dilakukan menggunakan metode HF/6-31g. Hasil optimasi menunjukkan perubahan struktur yang paling signifikan akibat pelarut adalah substituen yang terikat pada kerangka aril benzofuran dalam molekul sesbagrandidflorain. Perhitungan kereaktifan global dilakukan dengan cara perhitungan energi satu titik menggunakan level teori B3LYP/6-31g, B3LYP/6-31++g, B3LYP/6-311++g, B3LYP 6-311++g(d), serta M06/6-31g dalam keadaan tanpa pelarut, dalam pelarut metanol, serta dalam air. Deskriptor kereaktifan global yang dihitung terdiri dari energi ionisasi, afinitas elektron, keelektronegatifan serta kekerasan. Berdasarkan perhitungan deskriptor kereaktifan kimia global, molekul sesbagrandidflorain cenderung lebih reaktif dalam pelarut air. Selanjutnya dilakukan perhitungan kereaktifan lokal (indeks Fukui) menggunakan beragam level teori dalam keadaan tanpa pelarut dan dalam pelarut metanol dan air. Berdasarkan hasil perhitungan indeks Fukui, diketahui bahwa gugus yang cenderung mengalami serangan nukleofilik adalah gugus aldehid yang terikat pada cincin furan. Gugus yang cenderung mengalami serangan oleh suatu elektrofil adalah atom karbon dalam cincin benzen yang mengikat gugus -OH dan -OCH₃. Nilai indeks Fukui untuk serangan radikal pada molekul sesbagrandidflorain cenderung bernilai negatif, yang menunjukkan bahwa molekul sesbagrandidflorain A kurang reaktif terhadap radikal. Setelah itu dilakukan perhitungan satu titik untuk reaksi nitrasi pada molekul sesbagrandidflorain B yang masih memungkinkan terjadinya reaksi substitusi elektrofilik. Perhitungan energi satu titik dilakukan dari struktur hasil optimasi menggunakan metode DFT dengan fungsional <i>hybrid</i> B3LYP dengan basis set 6-311g++(d). Terdapat lima posisi pada cincin benzen yang dapat disubstitusi oleh -NO₂. Kelima titik tersebut memberikan diagram energi reaksi nitrasi yang mirip. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa pelarut cenderung menstabilkan intermediet dan produk dari reaksi nitrasi.</p>
<p>Keywords: Sesbagrandidflorain; computational chemistry; DFT; chemical reactivity; Fukui indices.</p>	<p><i>Benzofuran derivative substances are potential for therapeutic agents because its bioactivity. Benzofuran derivative can be found in natural product isolation or made synthetically. Recently, benzofuran derivative is found from stem bark isolation of Sesbania grandiflora using ethyl acetate. To develop sesbagrandidflorain as another kind of potential therapeutic agents, the reactivity of molecule is necessary to be known. In this research, theoretical study about sesbagrandidflorain and it's reactivity is conducted using computational method. Geometry optimization is conducted using HF/6-31g method. The results show that the structure of sesbagrandidflorain is changed by solvent. The substituents of aryl benzofuran main chain are significantly changed. Global reactivity can be calculated by single point energy using B3LYP/6-31g, B3LYP/6-31++g, B3LYP/6-311++g, B3LYP 6-311++g(d), and M06/6-31g without solvent, and with water and methanol as solvent. Global reactivity descriptors that is calculated are ionizing energy, electron affinity, electronegativity, and hardness. Based on global reactivity descriptor calculation, sesbagrandidflorain tend to more reactive in water. Local reactivity (Fukui indices) is calculated using a lot of theory without or with water and methanol as solvent. Based on the calculation, the functional group that tend to attacked by a nucleophilic is aldehyde functional group. Carbon that having -OH</i></p>

and -OCH₃ functional group tend to attack electrophile. Fukui indices for radical attack is negative, means that the molecule is less reactive to some radical attack. Single point calculation is conducted to nitration reaction that involve sesbagrandidflorain in certain position. Single point calculation is conducted using geometry optimization result. It use DFT method with hybrid functional B3LYP/6-311g++(d). There is five position that can be substituted by -NO₂. The five positions show the similiar nitration reaction energy diagram trend. The solvents tend to stabilize nitration reaction intermediate and product of sesbagrandidflorain.

PENDAHULUAN

Senyawa heterosiklik memiliki peran penting dalam menemukan dan mensintesis molekul baru yang memiliki aktivitas fisiologis dan farmakologis. Salah satu senyawa heterosiklik yang memiliki kegunaan yang luas adalah benzofuran [1]. Senyawa turunan benzofuran banyak diperoleh dari bahan alam. Salah satu turunan benzofuran yang baru berhasil diisolasi adalah sesbagrandidflorain A dan B, dengan nama IUPAC 6-metoksi-2-(2',3'-dihidroksi-5'-metoksifenil)-1-benzofuran-3-karbaldehid (sesbagrandidflorain A) dan 6-hidroksi-2-(2',3'-dihidroksi-5'-metoksifenil)-1-benzofuran-3-karbaldehid (sesbagrandidflorain B). Senyawa tersebut diperoleh dari ekstraksi kulit batang *Sesbania grandiflora* atau yang dikenal dengan nama turi. Ekstraksi dilakukan menggunakan n-heksan, etil asetat, dan metanol 90% secara berurutan [2]. Struktur molekul sesbagrandidflorain disajikan dalam **Gambar 1**.

Kereaktifan molekul sesbagrandidflorain dapat dikaji secara teoretis. Salah satu cara mengetahui kereaktifan molekul adalah melakukan perhitungan energi molekul untuk mengetahui deskriptor kereaktifan beserta energi reaksi melalui metode komputasi. Salah satu teori yang dapat digunakan pada metode komputasi adalah teori fungsional kerapatan (*Density Functional Theory*/DFT). Metode tersebut merupakan metode yang efektif untuk mencapai keakuratan tertentu dalam memperoleh berbagai informasi mengenai suatu molekul [3].

Melalui perhitungan kimia komputasi, deskriptor kereaktifan kimia dapat diketahui dari hasil perhitungan energi molekul. Urutan kereaktifan gugus-gugus dalam suatu molekul dalam menghadapi serangan elektrofil, nukleofil, maupun radikal juga dapat diramalkan melalui perhitungan indeks Fukui.

Molekul sesbagrandidflorain yang mengandung gugus benzena dapat mengalami reaksi substitusi elektrofilik untuk menghasilkan

senyawa turunan sesbagrandidflorain lainnya. Pada penelitian ini juga dilakukan kajian terhadap energi reaksi substitusi elektrofilik benzena, khususnya reaksi nitrasi. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kereaktifan molekul dalam mengalami reaksi nitrasi pada pelarut yang berbeda-beda. Melalui kajian kereaktifan sesbagrandidflorain menggunakan metode komputasi, diharapkan dapat memberikan tambahan informasi untuk mengembangkan sesbagrandidflorain menjadi senyawa yang bermanfaat lainnya.

EKSPERIMEN

Perangkat Keras

Perangkat yang digunakan untuk melakukan perhitungan secara komputasi adalah *High Performance Computing* (HPC) yang disediakan oleh laboratorium komputasi ITB serta server yang disediakan oleh Sonoma State University yang dapat diakses pada website chemcompute.org.

Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perhitungan secara komputasi adalah GAMESS-US (*General Atomic and Molecular Electronic Structure System*) versi 30 September 2018. Gamess US merupakan *opensource software* yang dikembangkan oleh Gordon Group Iowa University. Untuk membuat input file digunakan Notepad++. Untuk visualisasi hasil perhitungan digunakan wxMacMolPlt dan Avogadro.

Prosedur

Penelitian yang dilakukan meliputi tinjauan terhadap kemungkinan reaksi yang mungkin terjadi pada molekul sesbagrandidflorain. Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk mengetahui deskriptor kereaktifan kimia molekul

sesbagrandidflorain serta kereaktifan gugus-gugus yang terdapat dalam sesbagrandidflorain melalui indeks Fukui. Energi spesi-spesi yang terlibat dalam suatu reaksi dihitung pada kondisi pelarut yang berbeda, sehingga dapat diketahui pengaruh pelarut terhadap energi reaksinya.

Optimasi Geometri

Optimasi geometri dilakukan dengan cara membuat input berupa z-matrix dan disesuaikan menjadi file input perhitungan dengan perangkat lunak GAMESS-US. Pada saat optimasi geometri, terjadi iterasi untuk menemukan kombinasi panjang ikatan, sudut ikatan dan sudut dihedral yang menghasilkan energi paling rendah dan mengulangi proses tersebut hingga konvergen [3]. Optimasi geometri dilakukan pada struktur stabil (produk dan reaktan), struktur intermediat, serta struktur keadaan transisi. Optimasi geometri dilakukan menggunakan metode *Hartree-Fock* (HF) dengan basis set 6-31G. Metode HF dipilih untuk optimasi geometri karena dapat menghasilkan optimasi struktur yang cukup akurat dengan penyelesaian perhitungan komputasi yang lebih cepat sehingga perhitungan menjadi lebih hemat. Penggunaan metode dan basis set dengan level lebih tinggi dapat dilakukan pada perhitungan energi satu titik (*single point calculation*) agar proses perhitungan komputasi menjadi lebih cepat.

Perhitungan Energi Satu Titik (*Single Point Energy Calculation*)

Metode HF memiliki kemampuan untuk memprediksi struktur dengan cukup akurat, tetapi kemampuannya dalam memprediksi energi molekul sangat buruk. Besaran-besaran energi molekul perlu diketahui untuk menentukan deskriptor kereaktifan kimia dari suatu molekul. Agar perhitungan menjadi lebih hemat, perhitungan energi dilakukan dengan cara menghitung energi satu titik dari struktur hasil optimasi geometri. Perhitungan energi satu titik pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tingkat teori dan basis set, yaitu B3LYP/6-31G, B3LYP/6-31++G, B3LYP/6-311++g, B3LYP/6-311++g(d) dan M06/6-31G. Hasil perhitungan energi satu titik dapat digunakan untuk menentukan deskriptor kereaktifan kimia. Perhitungan satu titik yang dilakukan meliputi perhitungan dalam keadaan

tanpa pelarut serta dalam pelarut air dan metanol. Pengaruh pelarut dapat dihitung melalui model PCM (*Polarizable Continuum Solvent*). PCM merupakan salah satu metode komputasi yang dapat merepresentasikan model molekul tersolvasi namun dapat diaplikasikan dalam perhitungan yang didasari mekanika kuantum [4]. Pada model ini, suatu zat terlarut (yang dipengaruhi oleh beberapa pelarut yang dapat berinteraksi dengan molekul) diperlakukan berdasarkan perhitungan mekanika kuantum sedangkan pelarutnya dimodelkan sebagai suatu kontinum terpolarisasi yang tidak terbatas [5].

Penentuan Deskriptor Kereaktifan Kimia

Beberapa sifat kimia yang dapat diperoleh dari perhitungan menggunakan DFT diantaranya keelektronegatifan, potensial kimia, kekerasan (*hardness*), potensial ionisasi dan afinitas elektron. Sifat kimia tersebut menggambarkan kereaktifan global dari suatu molekul. Besaran-besaran tersebut dapat diperoleh dari besaran energi yang dihasilkan dari perhitungan energi satu titik kation, anion dan molekul netral sesbagrandidflorain.

Potensial kimia merupakan kecenderungan pelepasan elektron dari keadaan setimbang, yang dapat ditentukan dari persamaan 1.

$$\mu = \frac{1}{2}(I + A) = -\chi \quad (1)$$

χ merupakan keelektronegatifan, yang menggambarkan kemampuan molekul untuk menarik elektron terhadap dirinya dalam suatu ikatan kovalen. *Hardness* merupakan resistensi molekul untuk mentransfer muatan. *Hardness* dapat dinyatakan melalui persamaan 2.

$$\eta = \frac{1}{2}(I - A) \quad (2)$$

I merupakan energi ionisasi, yang dapat diperoleh dari selisih energi kation molekul dan energi molekul netral. A merupakan afinitas elektron, yang dapat diperoleh dari selisih energi molekul netral dengan energi anion molekul [6].

Kereaktifan lokal molekul dapat diketahui dari nilai indeks Fukui. Prosedur untuk menghitung fungsi Fukui dapat dipermudah melalui perhitungan indeks fungsi Fukui atom

yang telah diperingkas berdasarkan analisis populasi Mulliken [7].

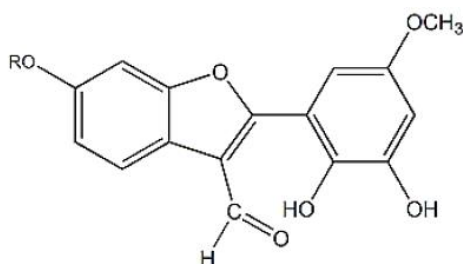
Perhitungan Energi Reaksi

Energi reaksi dapat diketahui dari selisih antara energi produk dengan reaktan. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan energi reaksi nitration molekul sesbagrindiflorain pada posisi-posisi yang memungkinkan terjadinya reaksi nitration. Selain itu, dilakukan pula perhitungan energi reaksi pada pelarut yang berbeda untuk mengetahui perbedaan energi reaksi dari penggunaan pelarut yang berbeda.

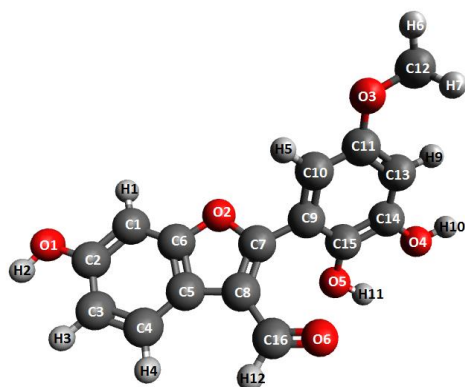
HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi Geometri

Hasil optimasi geometri menunjukkan bahwa Cincin benzofuran masih tetap berbentuk planar, sedangkan gugus aril yang terikat pada molekul sesbagrindiflorain tidak berbentuk planar terhadap gugus benzofuran. Terdapat sudut dihedral sebesar 40°. Hasil optimasi disajikan dalam **Gambar 2**.



Gambar 1 Struktur molekul dari sesbagrindiflorain A (R=-CH₃) dan sesbagrindiflorain B (R= -H)



Gambar 2 Struktur hasil optimasi geometri

Perhitungan Energi Satu Titik

Perhitungan energi dari hasil optimasi menggunakan level teori HF dengan basis set 6-31

G tidak dapat digunakan karena metode Hartree-Fock tidak baik dalam menghitung energi akibat tidak menyertakan korelasi elektron dalam perhitungan komputasi. Adanya perbedaan antara level teori dan basis set yang digunakan saat optimasi dan perhitungan energi satu titik menyebabkan perlunya menyertakan faktor koreksi pada hasil perhitungan energi satu titik agar hasil perhitungan dapat mencerminkan hasil eksperimen. Faktor koreksi untuk koreksi termal HF/6-31G adalah 0,909 [8]. Hasil perhitungan energi satu titik disajikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil perhitungan energi satu titik molekul sesbagrindiflorain B dengan menggunakan PCM H₂O dan PCM CH₃OH

Level teori/Basis set	Muatan spesi	Energi (Hartree) dengan PCM H ₂ O	Energi (Hartree) dengan PCM CH ₃ OH
HF/6-31G	0	-1061,619	-1061,618
	-1	-1061,727	-1061,725
	+1	-1061,441	-1061,439
B3LYP/6-31G	0	-1067,367	-1067,366
	-1	-1067,475	-1067,473
	+1	-1067,161	-1067,159
B3LYP/6-31++G	0	-1067,415	-1067,414
	-1	-1067,538	-1067,536
	+1	-1067,200	-1067,199
B3LYP/6-311++G	0	-1067,666	-1067,665
	-1	-1067,789	-1067,787
	+1	-1067,448	-1067,756
B3LYP/6-311++G(d)	0	-1067,970	-1067,970
	-1	-1068,079	-1068,077
	+1	-1067,757	-1067,756
M06/6-31G	0	-1067,318	-1067,317
	-1	-1067,428	-1067,426
	+1	-1067,101	-1067,099

Perhitungan Deskriptor Kereaktifan Kimia

Perhitungan deskriptor kereaktifan global meliputi afinitas elektron, energi ionisasi, keelektronegatifan dan potensial kimia dilakukan dengan model PCM air dan metanol serta dalam keadaan tanpa pelarut.

Berdasarkan **Tabel 2**, dapat diketahui bahwa kecenderungan nilai afinitas elektron molekul yang paling besar adalah dalam pelarut air. Pada kondisi tanpa pelarut nilai afinitas elektron molekul jauh lebih rendah dibandingkan dengan kondisi dalam pelarut. Hal ini menunjukkan bahwa untuk melakukan reaksi yang melibatkan pembentukan anion molekul sebaiknya dilakukan pada pelarut yang bersifat polar untuk menstabilkan produk anion molekul.

Level teori/ Basis set	Nilai Energi Ionisasi (kJ/mol)		
	Tanpa pelarut	PCM H ₂ O	PCM CH ₃ OH
HF/6-31G	576,76	367,03	369,67
B3LYP/6-31G	629,22	428,23	427,28
B3LYP/6-31++G	654,40	460,98	469,19
B3LYP/6-311++G	663,26	473,44	474,64
B3LYP/6-311++G(d)	657,51 3,99	559,58 4,38	561,60 4,37
M06/6-31G	658,11	476,72	475,21

Energi ionisasi molekul sesbagrindiflorain yang paling rendah adalah energi ionisasi dalam pelarut air. Hal ini menunjukkan bahwa untuk melakukan reaksi yang melibatkan pembentukan kation molekul sebaiknya dilakukan dengan menggunakan pelarut yang polar. Hasil perhitungan terdapat pada **Tabel 3**.

Nilai keelektronegatifan molekul juga mengalami peningkatan saat dilakukan perhitungan dalam pelarut air dibandingkan dengan dalam keadaan tanpa pelarut (**Tabel 4**). Nilai *hardness*, yang menunjukkan resistensi untuk transfer elektron mengalami penurunan yang cukup drastis saat dilakukan perhitungan dalam pelarut air dibandingkan dengan dalam keadaan tanpa pelarut (**Tabel 5**). Hal ini menunjukkan bahwa adanya pelarut dapat meningkatkan kemampuan molekul sesbagrindiflorain untuk mentransfer muatan pada sesamanya. Dengan begitu, molekul secara global cenderung lebih reaktif dalam pelarut polar (dalam penelitian ini air).

Tabel 2. Afinitas elektron molekul sesbagrindiflorain dari berbagai hasil perhitungan

Level teori/ Basis set	Nilai Afinitas Elektron (kJ/mol)		
	Tanpa pelarut	PCM H ₂ O	PCM CH ₃ OH
HF/6-31G	80,63	284,78	280,98
B3LYP/6-31G	107,80	283,20	280,61
B3LYP/6-31++G	146,91	322,61	319,87
B3LYP/6-311++G	146,20	322,53	319,67
B3LYP/6-311++G(d)	112,73	284,78	281,74
M06/6-31G	111,78	289,00	286,30

Tabel 3. Energi ionisasi molekul sesbagrindiflorain dari berbagai hasil perhitungan

Tabel 4. Keelektronegatifan molekul sesbagrindiflorain dari berbagai hasil perhitungan

Tabel 5. *Hardness* molekul sesbagrindiflorain dari berbagai hasil perhitungan

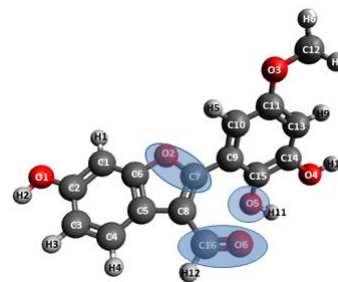
Level teori/ Basis set	Nilai Hardness (kJ/mol)		
	Tanpa pelarut	PCM H ₂ O	PCM CH ₃ OH
HF/6-31G	248,06	91,13	94,34
B3LYP/6-31G	257,71	129,51	131,33
B3LYP/6-31++G	253,75	120,68	122,66
B3LYP/6-311++G	258,53	124,45	127,49
B3LYP/6-311++G(d)	272,39	137,40	139,93
M06/6-31G	273,16	140,86	142,96

Kereaktifan lokal dapat ditentukan dari indeks Fukui berdasarkan populasi elektron [9]. Pada penelitian ini, digunakan data populasi Lowdin untuk menghitung indeks Fukui. Populasi Lowdin dihasilkan dari perhitungan energi satu titik. Berdasarkan perhitungan indeks Fukui dapat diketahui gugus yang paling mudah mengalami serangan nukleofil (fk^+) yang ditunjukkan pada **Gambar 3**, serangan elektrofil (fk^-) pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**, dan serangan radikal (fk^0) pada **Gambar 6**, **Gambar 7**, dan **Gambar 8**. Persamaan untuk menghitung indeks Fukui disajikan dalam persamaan 3.

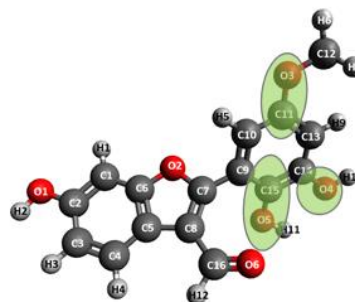
$$\begin{aligned}
 fk^+ &= qk(N+1) - qk(N) \\
 fk^- &= qk(N) - qk(N-1) \\
 fk^0 &= \frac{[qk(N+1) - qk(N-1)]}{2}
 \end{aligned}$$

qk = populasi Lowdin

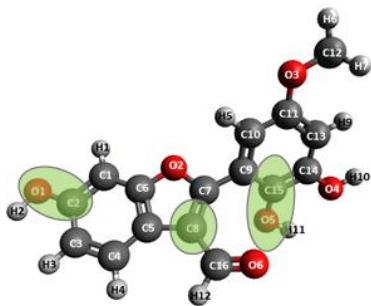
N = jumlah elektron molekul netral (3)



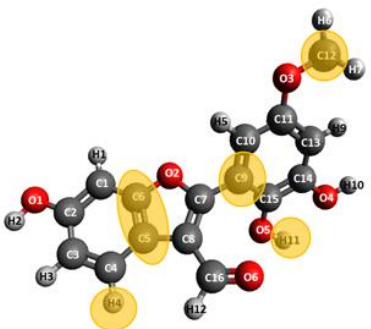
Gambar 3 Gugus yang cenderung mudah bereaksi dengan suatu nukleofil



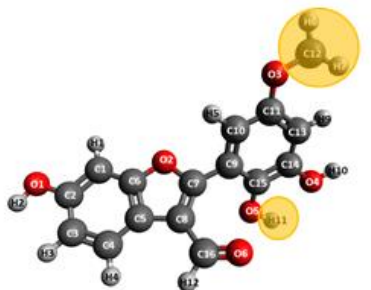
Gambar 4 Gugus yang cenderung mudah bereaksi dengan suatu elektrofil dalam keadaan tanpa pelarut.



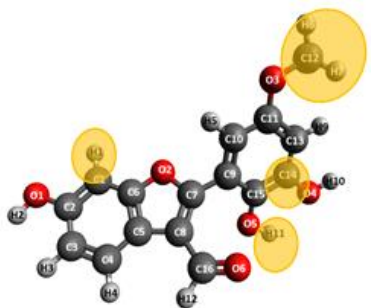
Gambar 5 Gugus yang cenderung mudah bereaksi dengan suatu elektrofil dalam pelarut air maupun metanol



Gambar 6 Gugus yang cenderung mudah bereaksi dengan suatu radikal dalam keadaan tanpa pelarut.



Gambar 7 Gugus yang cenderung mudah bereaksi dengan suatu elektrofil dalam pelarut air



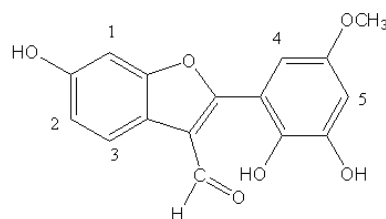
Gambar 7 Gugus yang cenderung mudah bereaksi dengan suatu elektrofil dalam pelarut metanol

Berdasarkan hasil perhitungan indeks Fukui, diketahui bahwa kereaktifan molekul terhadap suatu nukleofil cenderung tetap pada berbagai pelarut. Terdapat perbedaan yang signifikan pada gugus-gugus yang reaktif terhadap suatu elektrofil pada penggunaan pelarut dan dalam keadaan tanpa pelarut. Hal ini menunjukkan bahwa molekul sesbagrindiflorain cenderung lebih reaktif terhadap suatu elektrofil dan nukleofil jika terdapat dalam suatu pelarut. Gugus-gugus yang bersifat reaktif terhadap suatu radikal pada keadaan tanpa pelarut cenderung lebih banyak dibandingkan dalam pelarut. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi radikal cenderung mudah terjadi pada molekul dalam fasa gas (tanpa pelarut).

Perhitungan Energi Reaksi

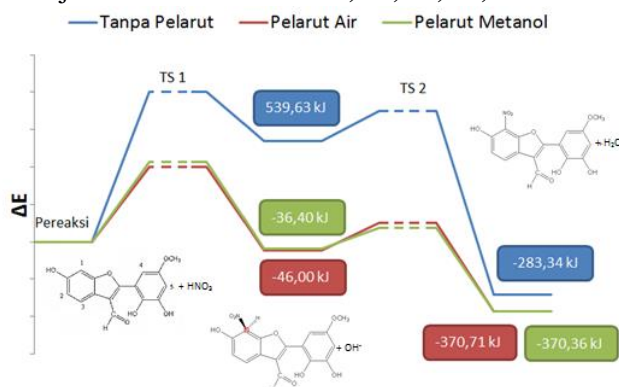
Berdasarkan analisis indeks Fukui, molekul sesbagrindiflorain dapat mengalami reaksi yang melibatkan suatu elektrofilik maupun nukleofilik. Salah satu reaksi yang mungkin terjadi pada molekul sesbagrindiflorain adalah reaksi substitusi elektrofilik. Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan terhadap spesi-spesi yang terlibat pada reaksi nitrasi molekul sesbagrindiflorain, yang merupakan salah satu reaksi substitusi elektrofilik. Reaksi nitrasi dipilih karena merupakan reaksi yang dapat menghasilkan nitrobenzen. Nitrobenzen merupakan senyawa yang penting karena dapat menjadi intermediat dalam beberapa reaksi organik [10].

Secara umum, mekanisme dari substitusi elektrofilik suatu senyawa aromatik terjadi dari dua tahapan; penyerangan oleh suatu elektrofil untuk menghasilkan kation intermediat dan pelepasan suatu proton dari kation untuk mengembalikan kearomatisan [11]. Berdasarkan analisis dari struktur molekul sesbagrindiflorain, diketahui ada lima titik yang memungkinkan terjadinya reaksi karena dapat melepaskan proton sehingga dalam penelitian ini dilakukan perhitungan energi terhadap struktur intermediat dan struktur produk reaksi nitrasi yang memungkinkan. Titik-titik yang dapat mengalami reaksi nitrasi digambarkan pada **Gambar 9**.

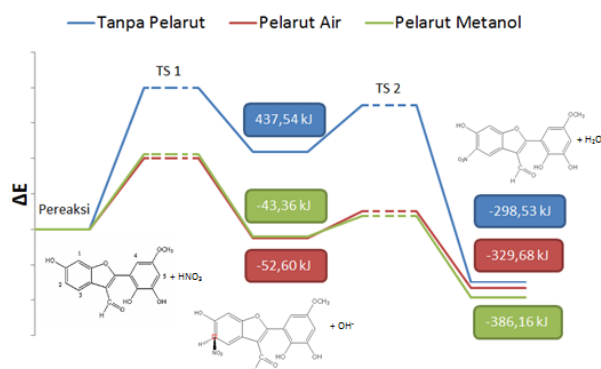


Gambar 9 Lima titik yang dapat mengalami reaksi nitration, ditandai dengan angka

Optimasi geometri untuk struktur molekul pereaksi, intermediat dan produk dilakukan menggunakan tingkat teori HF/6-31G. Untuk menghitung energi seluruh spesi dilakukan perhitungan energi satu titik yang menggunakan tingkat teori B3LYP dengan basis set 6-311++g(d). Spesi pereaksi yang dihitung adalah molekul sesbagrindiflorain beserta HNO_3 . Spesi intermediat yang dihitung adalah struktur intermediat molekul sesbagrindiflorain yang ternitration beserta ion OH^- . Spesi produk yang dihitung adalah hasil nitration molekul sesbagrindiflorain pada berbagai posisi serta molekul H_2O . Diagram energi reaksi nitration pada titik 1-5 dari molekul berdasarkan **Gambar 9** disajikan dalam **Gambar 10, 11, 12, 13, dan 14**.

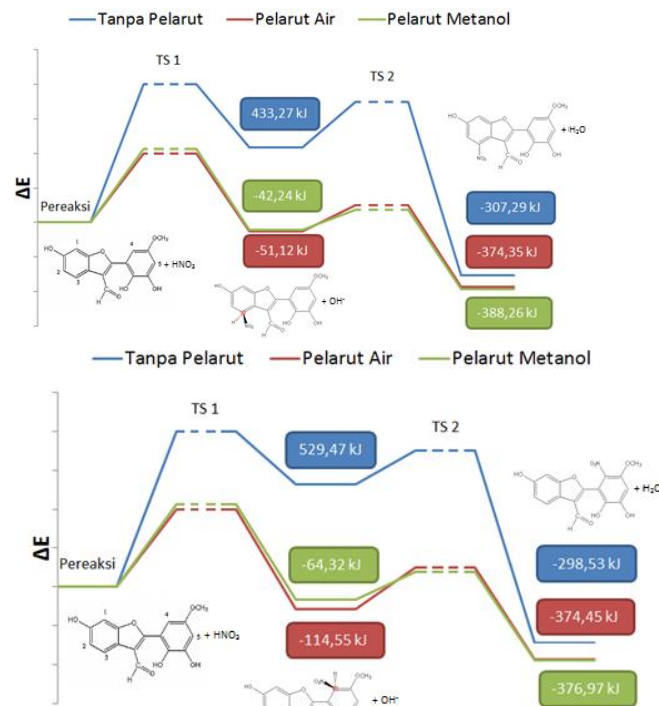


Gambar 10 Diagram energi nitration pada posisi 1

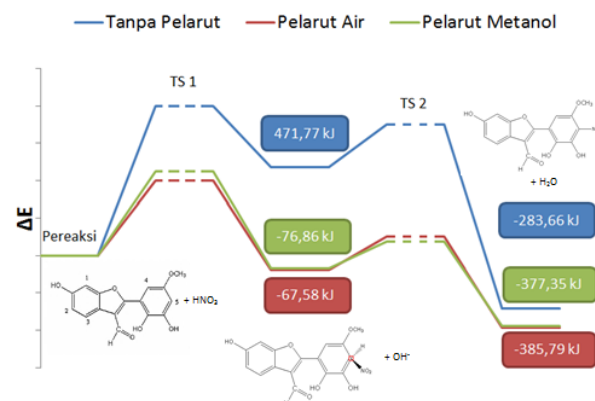


Gambar 11 Diagram energi nitration pada posisi 2

Gambar 12 Diagram energi nitration pada posisi 3



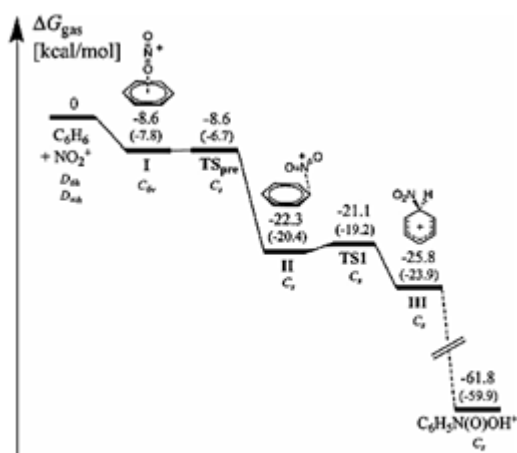
Gambar 13 Diagram energi nitration pada posisi 4



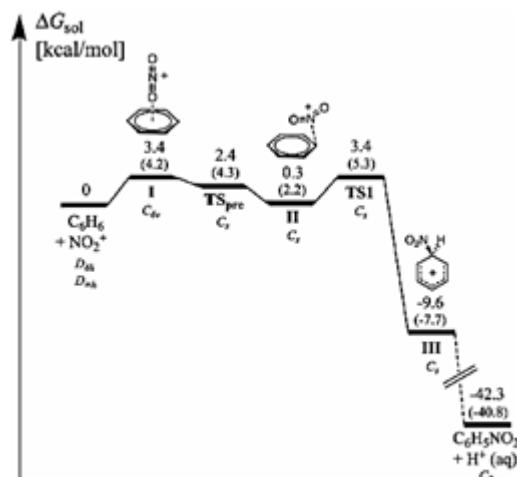
Gambar 14 Diagram energi nitration pada posisi 5

Berdasarkan perhitungan energi reaksi nitration pada posisi 1-5, diketahui bahwa reaksi nitration bersifat eksotermik, baik saat dihitung tanpa pelarut ataupun dengan pelarut. Perbedaannya terletak pada energi intermediatnya. Reaksi tahap pertama dalam keadaan tanpa pelarut cenderung bersifat endotermik, sedangkan dalam pelarut air dan metanol cenderung eksotermik. Hal ini cukup berbeda dengan diagram energi reaksi nitration molekul benzena. Diagram energi reaksi benzena disajikan dalam **Gambar 15**.

Reaksi nitration benzena baik dalam keadaan tanpa pelarut maupun dalam pelarut air merupakan reaksi yang eksotermik. Pembentukan intermediatnya pun cenderung eksotermik [12]. Reaksi pada pelarut air melepaskan energi yang jumlahnya lebih kecil dari reaksi nitration yang terjadi pada molekul sesbagrindiflorain. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi nitration pada molekul sesbagrindiflorain berbeda dengan reaksi nitration pada molekul benzena. Penggunaan pelarut pada molekul sesbagrindiflorain menyebabkan reaksi yang lebih eksotermis dibandingkan dengan tanpa pelarut. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pelarut lebih memudahkan molekul sesbagrindiflorain untuk mengalami reaksi nitration secara termodinamika.



A



B

Gambar 12 Diagram energi reaksi nitration benzena (A) dalam kondisi gas (B) dalam pelarut air [12]

Struktur molekul sesbagrindiflorain cukup dipengaruhi oleh pelarut yang digunakan. Pelarut dapat mempengaruhi panjang ikatan, sudut ikatan serta sudut dihedral dari gugus fungsi molekul sesbagrindiflorain. Berdasarkan hasil perhitungan deskriptor kereaktifan, molekul sesbagrindiflorain cenderung lebih reaktif pada perhitungan menggunakan pelarut dengan peningkatan nilai afinitas elektron sebesar 161,21%, penurunan nilai energi ionisasi sebesar 14,64%, serta peningkatan keelektronegatifan sebesar 11,61%, penurunan kekerasan sebanyak 52,55%. Berdasarkan hasil perhitungan indeks Fukui, serangan nukleofil cenderung mudah terjadi pada gugus aldehyd dari molekul tersebut. Serangan terhadap suatu elektrofil cenderung terjadi pada atom karbon yang mengandung gugus -OH dan -O. Serangan radikal lebih memungkinkan terjadi saat molekul dalam fasa gas. Dari hasil perhitungan energi reaksi nitration pada molekul sesbagrindiflorain diketahui bahwa penggunaan pelarut menyebabkan reaksi tahap satu (pembentukan intermediat) bersifat eksotermik sebesar -114 kJ hingga -36 kJ, sedangkan reaksi yang dihitung dalam keadaan tanpa pelarut bersifat endotermik sebesar 433 kJ hingga 539 kJ. Pelarut dapat menstabilkan intermediat dan produk sehingga reaksi nitration menjadi lebih eksotermik dibandingkan dengan tanpa pelarut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada laboratorium HPC ITB, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, serta Mark Perry dari Sonoma State University yang telah menyediakan server untuk melakukan perhitungan komputasi molekul selama melakukan penelitian.

REFERENSI

- [1] H. Khanam and Shamsuzzaman, "Bioactive Benzofuran derivatives: A review," *European Journal of Medicinal Chemistry*, pp. 483-504, 2015.
- [2] N. Noviany, A. Nurhidayat, S. Hadi, and T. Suhartati, "Sesbagrindiflorain A and B: isolation of two new 2-arylbenzofurans from the stem bark of Sesbania grandiflora," *Natural Product Research*, pp. 2558-2564, 2018.
- [3] C. J. Cramer, *Essentials of Computational Chemistry: Theories*. - Amazon. Minneapolis: Wiley, 2004.

SIMPULAN

- [4] B Mennucci, "Polarizable continuum model," *WIREs Comput Mol Sci*, 2, pp. 386-404, 2012.
- [5] M. Cossi, V. Barone, B. Mennucci, and J. Tomasi, "Ab initio study of ionic solutions by a polarizable continuum dielectric model," *Chemical Physics Letters*, pp. 253-260, 1998.
- [6] R. G. Parr and W Yang, *Density Functional Theory of Atoms and Molecules*. New York: Oxford University Press, 1989.
- [7] W. Yang and W. J. Mortier, "The use of global and local molecular parameters for the analysis of the gas-phase basicity of amines," *J. Am. Chem. Soc.*, pp. 5708-5711, 1986.
- [8] J. Zheng, I. M. Alecu, J. Lynch, Y. Zhao, and D. G. Truhlar. (2011, April) Database of Frequency Scale Factors for Electronic Model Chemistries. [Online]. <https://comp.chem.umn.edu/freqscale/version3b1.htm>
- [9] P. Kolandaivel, G. Praveena, and P. Selvarengan, "Study of atomic and condensed atomic indices for reactive sites of molecules," *J. Chem. Sci.*, pp. 591-598, 2005.
- [10] J. G. Hogget, R. B. Moodie, J. R. Penton, and K. Schofield, *Nitration and Aromatic Reactivity*. Great Britain: Cambridge University Press, 1971.
- [11] J. Clayden, N. Greeves, and S. Warren, *Organic Chemistry 2nd edition*. United States: Oxford University Press, 2012.
- [12] M. Liljenberg, J. H. Stenlid, and T. Brinck, "Mechanism and regioselectivity of electrophilic aromatic nitration in solution: the validity of the transition state approach," *Journal of Molecular Modelling*, pp. 1-13, 2018.

Pengembangan Instrumen Penilaian Kinerja pada Praktikum Penentuan Rumus Kimia Senyawa Hidrat

WIWI SISWANINGSIH*,¹ RIZKI ULFIYAH LESTARI,² DAN NAHADI³

Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia,

Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung 40154, Indonesia

* alamat email korespondensi: wiwi2450@gmail.com; rizkiulfiyah24@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: Penilaian Kinerja; Praktikum; Reliabilitas; Senyawa Hidrat dan Validitas</p>	<p>Penelitian yang berjudul "Pengembangan Instrumen Penilaian Kinerja Siswa SMA Pada Praktikum Penentuan Rumus Kimia Senyawa Hidrat" ini bertujuan untuk mengembangkan dan menghasilkan instrumen penilaian kinerja yang mampu mengukur kompetensi siswa pada materi stoikiometri yaitu praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat. Penelitian ini menggunakan metode pengembangan dan validasi yang terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap perencanaan, tahap pengembangan, tahap validasi, tahap reliabilitas dan uji coba instrumen. Partisipan dalam penelitian ini adalah sebanyak 10 orang siswa kelas X MIPA di salah satu SMA Negeri Kota Bandung. Instrumen yang dikembangkan berupa task dan rubrik. Pada tahap pengembangan diperoleh 5 indikator keterampilan dengan 22 aspek kinerja. Lima indikator keterampilan pada praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat meliputi : merancang, melakukan, menganalisis data, menjaga kebersihan dan mengkomunikasikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instrumen penilaian kinerja yang dikembangkan memenuhi kriteria valid dilihat dari nilai CVR dan reliabilitas dengan teknik inter rater dilihat dari nilai <i>cronbach alpha</i> dan koefisien korelasi pada kategori sangat baik.</p>
<p>Keywords: Hydtate Compound; Performance Assessment; Practice; Reliability and Validity.</p>	<p>The study, entitled "The Development of High School Students Performance Assessment In Determination Practical Compounds Chemical formula hydrates" aims to develop and produce a performance assessment instrument capable of measuring the competence of the students on the material that is practical determination stoichiometric chemical formula hydrate compounds. This study uses the method development and validation consists of several phases: planning, development stage, the stage of validation, reliability and testing phase of the instrument. Participants in this study were as many as 10 students of class X MIPA in one SMA Bandung. The instrument was developed in the form of tasks and rubrics. At this stage of development of the 5 indicators of the skills acquired by 22 aspects of performance. Five indicators skills of determining the chemical formula for hydrate compound include: designing, conducting, analyze experimental results, maintaining cleanliness, and communicating conclusions. The results showed that the performance assessment instruments developed valid criteria seen from CVR values and reliability with inter rater technique chosen from Cronbach alpha values and correlation coefficients in the excellent category.</p>

PENDAHULUAN

Penilaian yang dapat digunakan untuk mengukur aspek keterampilan dalam berpraktikum adalah penilaian kinerja. Penilaian kinerja adalah suatu sistem penilaian hasil belajar yang digunakan untuk kualitas hasil belajar siswa dalam menyelesaikan suatu tugas [1]. Penilaian

kinerja memiliki validitas yang lebih tinggi daripada penilaian kognitif [2]. Kinerja siswa dapat dinilai dengan penilaian di laboratorium/ penilaian kinerja (*performance assessment*) [3] karena penilaian ini cocok diterapkan sebagai penilaian di laboratorium yang dapat menilai proses dan hasil tetapi dibutuhkan kriteria yang jelas untuk menggambarkan kinerja yang dinilai.

untuk menilai kegiatan praktikum menggunakan penilaian kinerja, dilengkapi dengan dua komponen yang harus ada yaitu tugas kinerja dan rubrik penskoran [4].

Berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu guru kimia pada salah SMA kota Bandung, diperoleh informasi bahwa penilaian kinerja sudah dilakukan namun penerapannya belum optimal karena kurangnya motivasi, fasilitas dan pemahaman mengenai penilaian kinerja.. Penilaian yang dilakukan hanya terbatas pada penilaian kinerja hasil tugas laporan lembar kerja siswa (LKS) praktikum dari kelompok dan keaktifan di dalam kelas saja. Hal tersebut dikarenakan terkendalanya jumlah observer pada saat penilaian kinerja dilakukan.

Maka berdasarkan pemaparan di atas peneliti merasa perlu melakukan penelitian untuk mengembangkan instrumen penilaian kinerja pada praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat. Tujuan dari penelitian ini ingin mengetahui validitas dan reliabilitas instrumen penilaian kinerja yang dikembangkan, serta mengetahui korelasi hasil penilaian instrumen penilaian kinerja siswa pada praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat.

EKSPERIMEN

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan dan validitas (*Development and Validation*) yang dikembangkan oleh [5] Secara garis besar langkah-langkah metode pengembangan dan validasi yang dilakukan penelitian ini terdiri dari (1) tahap perencanaan, (2) tahap pengembangan instrumen, (3) tahap validitas, (4) tahap uji coba.

Tahap perencanaan diawali dengan penentuan KI dan KD pada silabus kimia 2016 untuk menentukan tujuan pelaksanaan penilaian. Proses pengembangan meliputi penyusunan kisi-kisi instrumen hingga didapatkan instrumen berupa aspek kinerja dan rubric penskoran yang akan digunakan pada penilaian kinerja siswa.

Tahap validitas yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya uji validasi isi terhadap instrumen yang telah dikembangkan. Untuk menganalisis hasil pertimbangan para ahli digunakan teknik CVR yang dikemukakan [6].

Nilai CVR yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai minimum CVR berdasarkan jumlah validator [6]. Aspek kinerja dan rubric diterima apabila memiliki nilai CVR diatas atau sama dengan nilai minimum CVR. Sebaliknya, aspek kinerja ditolak apabila memiliki nilai CVR dibawah minimum CVR.

Instrumen yang telah dinyatakan valid oleh ahli validator, kemudian dilakukan uji coba (reliabilitas) pada 10 orang siswa SMA kelas X di salah satu SMA di kota Bandung yang telah mempelajari materi Stoikiometri. Uji reliabilitas yang digunakan adalah reliabilitas *inter-rater*, untuk mengetahui keajegan penilaian yang dilakukan rater [7]. Program SPSS versi 20.0 digunakan untuk mengalisis nilai reliabilitas keseluruhan butir soal dengan Cronbach Alpha sebagai indeks reliabilitasnya. Selain itu, dilakukan nilai korelasi spearman untuk mengetahui hubungan nilai dari antar rater [8].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan Instrumen

Dalam melakukan proses pengembangan instrumen penilaian kinerja, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan yaitu merancang instrumen penilaian kinerja berupa tugas dan rubrik, melakukan validasi isi instrumen oleh validator dan melakukan uji coba secara terbatas [4]. Dalam penyusunan kisi-kisi instrumen, perancangan indikator keterampilan didasarkan pada apa yang dikemukakan [9] bahwa tugas laboratorium memberikan tantangan kepada siswa dalam merancang, melakukan, menganalisis, dan menyimpulkan hasil percobaan.

Berdasarkan hal tersebut, maka terdapat lima indikator keterampilan pada praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat yaitu merancang praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat, melakukan praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat, menganalisis data hasil praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat, menjaga kebersihan setelah melakukan praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat, dan menyimpulkan hasil praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat.

Dalam pengembangan task (tugas) kinerja terdapat beberapa langkah, yaitu menentukan materi pelajaran, membuat konteks atau keterampilan yang akan dikembangkan, menjelaskan keterampilan siswa yang akan dikembangkan, mengidentifikasi siapa yang akan dinilai, mengembangkan pedoman penskoran serta meninjau dan merevisi tugas kinerja (task) [10].

Selain tugas kinerja (task), hal lainnya yang dikembangkan dalam instrumen penilaian kinerja adalah rubrik. Terdapat beberapa langkah pengembangan rubric yaitu mengidentifikasi kinerja yang akan dinilai, menentukan tingkatan kinerja yang tepat untuk penilaian serta membuat

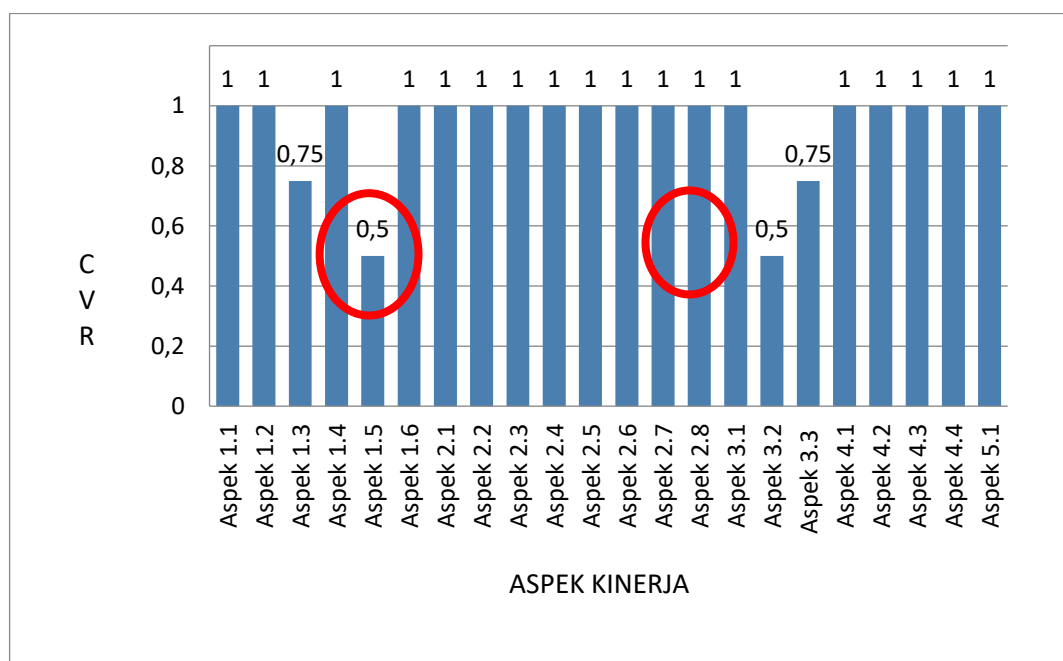
deskripsi kinerja [11]. Rubrik yang digunakan dalam bentuk rating scale dengan teknik checklist [12]. Karena kelebihan dari bentuk *checklist* adalah lebih praktis dan mudah dilakukan karena penilai cukup memberikan tanda cek (v) sesuai dengan pengamatannya terhadap apa yang dinilai dan pada penulisan instrumen bentuk *rating scale*, pemberian indikator keterampilan dalam instrumen itu memungkinkan penguji menimbang skor untuk kerja masing-masing siswa pada tiap langkah kerja yang menjadi keterampilan [12].

Kualitas Instrumen

Dalam melakukan penelitian mengenai pengembangan instrumen penilaian kinerja, kualitas instrumen merupakan hal yang sangat diperlukan untuk mengetahui bahwa instrumen

yang telah dikembangkan sudah baik atau belum untuk mengukur kinerja siswa. Dalam penelitian ini, untuk mengetahui kualitas instrumen dilihat dari nilai validitas isi dan reliabilitas.

Penentuan kualitas setiap aspek kinerja dan rubrik dari segi validitas dilakukan melalui validitas isi. Pada tahap validasi isi, peneliti meminta validator untuk memberikan pertimbangan tentang kesesuaian indikator dengan task, kesesuaian task dengan rubrik. Validasi ini menghasilkan data berupa saran dari validator untuk memperbaiki kesalahan dalam penulisan, penggunaan kalimat yang kurang tepat, pertimbangan kesesuaian antara indikator dengan task, task dengan rubrik dan memperbaiki pemberian skor yang belum tepat. Hasil dari uji validitas isi dapat dilihat pada Gambar 1.

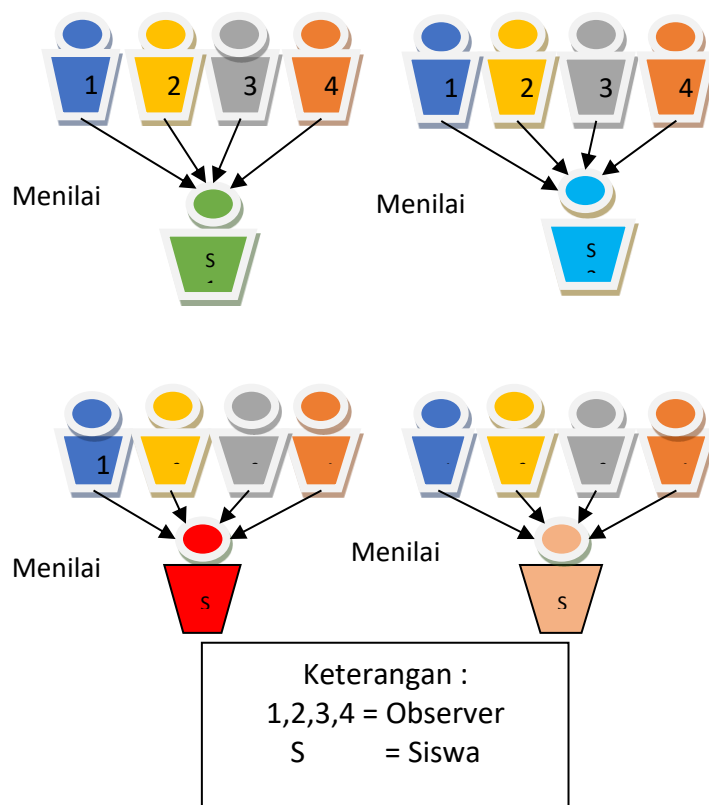


Gambar 1 Hasil Uji Validasi Isi

Pada tahap validitas isi, semua aspek kinerja dan rubrik dinyatakan valid oleh delapan validator namun ada 2 aspek yang dinyatakan tidak valid karena nilai CVR dibawah nilai CVR Minimum yaitu 0,5. Nilai CVR masing-masing aspek kinerja (task) dan rubrik memiliki nilai CVR > 0,75. Dengan demikian, 20 aspek kinerja dinyatakan memenuhi kriteria yang baik dilihat dari validitas isi. Dengan kata lain, instrumen yang dikembangkan dapat mengukur apa yang seharusnya diukur [12] dan sejalan dengan yang diungkapkan oleh [13] bahwa nilai CVR 1 dinyatakan valid. Kedua puluh aspek kinerja tersebut mencakup keterampilan dasar dalam

praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat baik keterampilan kognitif, afektif maupun psikomotor.

Instrumen yang telah dinyatakan valid dari segi isi diuji coba kepada siswa kelas X SMA yang telah mempelajari materi stoikiometri terutama penentuan rumus kimia senyawa hidrat untuk menentukan keajegan penilaian yang dilakukan observer. Uji coba dilakukan pada kelompok 4 orang dan kelompok 6 orang yang dinilai oleh 4 orang rater. Kemudian setelah dilakukan uji coba dilakukan uji reliabilitas, uji reliabilitas yang digunakan adalah reliabilitas *inter rater* dengan mengukur konsistensi penilaian dari para rater [7]



Gambar 2 Pola pelaksanaan uji reliabilitas dalam kegiatan penilaian kinerja penentuan rumus kimia senyawa hidrat

Berdasarkan hasil uji coba reliabilitas ini, dan berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan program SPSS versi 20.0 diketahui kualitas instrumen untuk seluruh aspek kinerja dengan nilai *cronbach alpha*. Diketahui kualitas instrumen untuk seluruh aspek kinerja dengan nilai rata-rata *cronbach alpha* sebesar 0,974 untuk kelompok 4 orang dan untuk kelompok 6 orang diperoleh nilai rata-rata *cronbach alpha* sebesar 0,943. Sehingga dapat dikatakan bahwa penilaian yang dilakukan memiliki konsistensi yang tinggi atau dapat dikatakan instrumen yang digunakan reliable [14] dan apabila nilai reliabilitas yang tinggi berarti instrumen yang dikembangkan layak untuk digunakan.

Berdasarkan pengolahan data pada kelompok 4 orang dan 6 orang dihubungkan dengan kategori kekuatan korelasi [5], diketahui bahwa nilai korelasi dari antar dua rater pada kelompok 4 orang yaitu 1 dan untuk nilai korelasi dari dua rater pada kelompok 6 orang ada pada rentang 0,638 – 1,000, artinya dari nilai korelasi tersebut dapat dinyatakan korelasinya sangat baik. Hal ini dimaksudkan bahwa instrument penilaian kinerja yang dikembangkan layak untuk digunakan.

KESIMPULAN

Instrumen penilaian kinerja di kembangkan dengan tahap perencanaan, pengembangan, validasi dan uji coba. Kualitas instrumen yang dikembangkan memiliki validitas isi yang sangat baik untuk seluruh butir *task*, dan rubrik. Dimana nilai rata-rata reliabilitas instrumen untuk kelompok 4 orang siswa yaitu 0,974 dengan kategori sangat baik begitu juga untuk kelompok 6 orang yaitu 0,943 dengan kategori sangat baik. Dapat dikatakan instrumen yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki kualitas yang baik. Terdapat korelasi yang baik dalam penilaian yang dilakukan antara dua observer dalam menilai praktikum penentuan rumus kimia senyawa hidrat. Dilihat dari nilai CVR, *cronbach alpha* dan korelasi, instrumen yang dikembangkan layak untuk digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian penyusunan artikel ini tidak terlepas dari bantuan, motivasi, dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin

menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak Departemen Pendidikan Kimia, FPMIPA UPI.

REFERENSI

- [1] Kusrini dan Tatag. Penilaian Unjuk Kerja (*Performance Assessment*) Suatu Asesmen Alternatif dalam Kelas Matematika, (Surabaya: Pusat Sains dan Matematika UNESA 2002) hal 6.
- [2] Feldon D. F., Maher M. A. and Timmerman B. E.(2010).Performance-based data in the study of STEM PhD education,*Science*, 329, 282–283.
- [3] Hofstein, A. (2004). The Laboratory In Chemistry Education: Thirty Years Of Experience With Developments, Implementation, And Research. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5 (3), HLM.247-264.
- [4] Sudrajat, A. dkk. (2011). Pengembangan Rubrik Asesmen Kinerja untuk Mengukur Kompetensi Mahasiswa Melakukan Praktikum Analisis Volumetri. *Jurnal Chemica*, 12(1), 1-8.
- [5] Adams, K., & Wieman, C. (2010). *Depelovment and Validation Of Instrument to Measure Learning Of Expert-Like Thinking. Internastional Journal Science Education*. 1(1). 1-24.
- [6] Lawshe, C.H. (1975). *A Quantitative Approach To Content Validity*. *Personnel Pshycology*, 28, hlm. 563-575.
- [7] Nitko,A.J & Brookhart, S.M. (2007). *Educational assessment of student*. New Jersey: Pearson Education
- [8] Susetyo, B. (2015). *Prosedur Penyusunan & Analisis Tes untuk Penilaian Hasil Belajar Bidang Kognitif*. Bandung : PT Refika Aditam
- [9] Kusrini dan Tatag. Penilaian Unjuk Kerja (*Performance Assessment*) Suatu Asesmen Alternatif dalam Kelas Matematika, (Surabaya: Pusat Sains dan Matematika
- [10] Cody, W. S. (2000). Designing An EffectivePerformance Task for The Classroom. *English Teacher's Journal*, 15-23.
- [11] Wolf, K. & Stevens E. (2007). The Role of Rubrics in Advancing and Assessing Student Learning. *The Journal of Effective Teaching*, 7 (1), 3-14. UNESA 2002) hal 6.
- [12] Firman, H. (2013). *Evaluasi pemebelajaran kimia*. Bandung: Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA UPI.
- [13] Gliem, J. A. & Gliem, R. R. (2003). Calculating, Interpreting, and Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-Type Scales. *Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, 8(10), 82-88.
- [14] Bhatnagar, Ruchi, Jihye Kim, and Joyce E, Many. (2014). *Candidate Surveys on Program Evaluation: Examining Instrument Reliability, Validity and Program Effectiveness*.*American Journal of Educational Research*, 2(8), 683-690

Upaya Meningkatkan Hasil Belajar Siswa dalam Pembelajaran Analisis Potensiometri Melalui Penerapan Model Pembelajaran Tutor Sebaya Di SMK Negeri 13 Bandung

OTONG NUGRAHA

SMK Negeri 13 Bandung, Jl. Soekarno-Hatta KM. 10 Bandung

* alamat email korespondensi: otongnugraha@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Kata Kunci : Pembelajaran, Model Pembelajaran, Tutor Sebaya, Hasil Belajar Siswa, Penelitian Tindakan Kelas	Model pembelajaran tutor sebaya merupakan salah satu model pembelajaran yang dapat diterapkan oleh guru untuk memberikan pengalaman belajar yang bermakna bagi siswa karena dapat membangkitkan aktifitas belajar siswa. Aktifitas belajar siswa yang positif merupakan proses bagi siswa dalam mempelajari dan memahami materi. Semakin sering siswa melibatkan secara aktif dalam pembelajaran semakin besar kesempatan bagi siswa untuk mengembangkan kemampuan yang mereka miliki baik dalam aspek akademis maupun non akademis. Penelitian tindakan kelas bersifat <i>reflektif</i> dengan melakukan tindakan yang tepat dan dilaksanakan secara <i>kolaboratif</i> (kerjasama) untuk memperbaiki atau meningkatkan hasil belajar siswa dengan penyajian pembelajaran melalui penerapan model pembelajaran yang berbeda. Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian tindakan kelas terdiri dari 2 siklus menggunakan model spiral yang terdiri dari 4 tahap meliputi perencanaan, pelaksanaan tindakan, observasi, refleksi dan perbaikan rencana dalam setiap siklus dapat disimpulkan bahwa penerapan model pembelajaran tutor sebaya dapat meningkatkan aktifitas belajar siswa dan hasil belajar siswa.
<i>Keywords: Learning, Learning Model, Peer Tutors, Student Learning Outcomes, Research Class Actions</i>	<i>Peer tutor learning model is one of the learning models that can be applied by teachers to provide meaningful learning experiences for students because it can arouse student learning activities. Positive student learning activities are processes for students to learn and understand the material. The more often students actively involve in learning the greater the opportunity for students to develop their abilities in both academic and non-academic aspects. Classroom action research is reflective by taking appropriate actions and carried out collaboratively (collaboration) to improve or improve student learning outcomes by presenting learning through the application of different learning models. The research conducted is classroom action research consisting of 2 cycles using a spiral model consisting of the 4 stages including planning, implementing actions, observing, reflecting and improving plans in each cycle it can be concluded that the application of peer tutoring learning models can improve student learning activities and student learning outcomes.</i>

PENDAHULUAN

Pembelajaran adalah suatu usaha yang disengaja bertujuan dan terkendali agar orang lain belajar atau terjadi perubahan yang relative menetap pada diri orang lain. Usaha ini dilakukan oleh seseorang atau suatu tim yang memiliki kemampuan dan kompetensi dalam merancang dan atau mengembangkan sumber belajar yang diperlukan. Kewajiban pendidik sebagai pelaku pendidikan adalah mencari solusi yang terbaik dan sesuai dengan kebutuhan siswa dalam melakukan kegiatan pembelajaran.

Untuk meningkatkan kualitas hasil belajar, maka selayaknya diperlukan suatu model

pembelajaran yang dapat meningkatkan kualitas pembelajaran dan mengajak siswa untuk lebih aktif dan kreatif dalam belajar. *Tutor Sebaya* merupakan model pembelajaran yang menekankan pada ketercapaian hasil belajar dengan mengutamakan bekerja sama dalam kelompok.

Tutor sebaya akan merasa bangga atas perannya dan juga belajar dari pengalamannya. Hal ini membantu memperkuat apa yang telah dipelajari dan diperolehnya atas tanggung jawab yang dibebankan kepadanya. Ketika mereka belajar dengan tutor sebaya, siswa juga mengembangkan kemampuan yang lebih baik untuk mendengarkan, berkonsentrasi, dan memahami apa yang dipelajari dengan cara yang

bermakna. Penjelasan tutor sebaya kepada temannya lebih memungkinkan berhasil dibandingkan guru. Siswa melihat masalah dengan cara yang berbeda dibandingkan orang dewasa dan mereka menggunakan bahasa yang lebih akrab sehingga menyenangkan dan informatif [1].

Belajar mengajar adalah sebuah interaksi yang bernilai normatif. Belajar mengajar adalah suatu proses yang dilakukan secara sadar dan bertujuan. Dalam interaksi pembelajaran unsur guru dan siswa harus aktif, karena tidak mungkin terjadi proses interaksi bila hanya satu unsur yang aktif. Dalam sistem pengajaran dengan pendekatan keterampilan proses, siswa harus lebih aktif daripada pendidik, pendidik hanya bertindak sebagai fasilitator dan pembimbing.

Motivasi dapat diartikan sebagai kekuatan (energi) seseorang yang dapat menimbulkan tingkat persistensi dan entusiasmenya dalam melaksanakan suatu kegiatan, baik yang bersumber dari dalam diri individu itu sendiri (motivasi intrinsik) maupun dari luar individu (motivasi ekstrinsik).

Motivasi tersebut perlu dimiliki oleh para siswa dan guru untuk memperlancar pembelajaran. Kaitannya dengan pembelajaran, motivasi merupakan faktor yang sangat besar pengaruhnya pada proses belajar siswa tanpa adanya motivasi, maka proses belajar siswa akan sukar berjalan secara lancar. Dalam konsep pembelajaran, motivasi berarti seni mendorong peserta didik untuk terdorong melakukan kegiatan belajar sehingga tujuan pembelajaran tercapai.

Dalam proses pembelajaran para guru perlu mendesain motivasi yang tepat terhadap siswa agar para siswa itu belajar atau mengeluarkan potensi belajarnya dengan baik sehingga memperoleh hasil yang maksimal. Hakikat cara belajar siswa aktif menunjukkan kepada keaktifan mental, meskipun untuk maksud ini dalam banyak hal dipersyaratkan keterlibatan langsung dalam berbagai bentuk keaktifan siswa. Jadi cara belajar siswa aktif bukan bermaksud agar siswa melakukan aktifitas siswa dengan kegiatan-kegiatan yang asal-asalan melainkan yang diutamakan kegiatan-kegiatan belajar yang melibatkan mental secara optimal, sekalipun sering melibatkan kegiatan-kegiatan secara fisik.

Belajar sangat erat hubungannya dengan prestasi belajar. Karena prestasi itu sendiri merupakan hasil belajar itu biasanya dinyatakan dengan nilai. Hasil belajar adalah hasil dimana guru melihat bentuk akhir dari pengalaman interaksi pembelajaran yang diperhatikan adalah menempatkan tingkah laku.

Untuk menentukan tercapainya tujuan pendidikan dan pengajaran perlu dilakukan usaha atau tindakan penilaian. Penilaian adalah upaya atau tindakan untuk mengetahui sejauh mana tujuan yang telah ditetapkan itu tercapai atau tidak. Dengan kata lain penilaian berfungsi untuk mengetahui keberhasilan siswa atau hasil belajar siswa. Penilaian hasil belajar adalah proses pemberian nilai terhadap hasil-hasil belajar yang dicapai oleh siswa dengan kriteria tertentu [2]. Dengan adanya kriteria dalam penilaian dapat memotivasi guru agar dalam pembelajarannya sesuai kriteria dan begitu pula dengan siswanya supaya memiliki semangat belajar yang tinggi

Sehubungan dengan hal tersebut sistem pembelajaran menekankan kepada pendayagunaan asas keaktifan dalam proses pembelajaran untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan. Menurut (Sudjana, 2005) menyatakan bahwa penilaian proses belajar mengajar terutama adalah melihat sejauh mana keaktifan siswa dalam mengikuti proses belajar mengajar, keaktifan siswa dalam mengikuti proses belajar mengajar dapat dilihat dalam hal turut serta dalam melaksanakan tugas belajar, terlibat dalam pemecahan masalah, bertanya pada siswa lain atau kepada guru apabila tidak memahami persoalan yang dihadapinya, berusaha mencari berbagai informasi yang diperlukan untuk pemecahan masalah, melaksanakan diskusi kelompok sesuai dengan petunjuk guru, melatih diri dalam memecahkan soal atau masalah yang sejenis dan kesempatan menggunakan atau menerapkan apa yang telah diperolehnya dalam menyelesaikan tugas atau persoalan yang dihadapinya [2].

Penelitian tindakan kelas dilakukan bertujuan untuk mengetahui peningkatan hasil belajar siswa kelas XI Analis Kimia 6 di SMK Negeri 13 Bandung selama pembelajaran dengan menerapkan model pembelajaran tutor sebaya. tiap paragraf.

EKSPERIMEN

Prosedur

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian tindakan kelas, menurut (Arikunto, 2006) mengemukakan penelitian tindakan kelas merupakan suatu pencerminan terhadap kegiatan belajar berupa sebuah tindakan, yang sengaja dimunculkan dan terjadi dalam sebuah kelas secara bersama [3]. Jadi penelitian tindakan kelas bisa dikatakan suatu tindakan yang disengaja untuk mendapatkan kegiatan belajar

mengajar dengan hasil yang maksimal yang berfokus pada kegiatan pembelajaran.

Penelitian tindakan kelas juga harus adanya hubungan atau kerjasama antara peneliti dengan guru baik dalam pembelajaran maupun dalam menghadapi permasalahan yang nyata di kelas. Dalam hal ini kerjasama (kolaborasi) antar guru dengan peneliti menjadi hal yang sangat penting [4]. Melalui kerjasama, mereka secara bersama menggali dan mengkaji permasalahan yang dihadapi guru dan/atau siswa di sekolah.

Observer melakukan pengamatan terhadap aktivitas siswa dan pengamatan terhadap penelitian tindakan kelas ketika pembelajaran berlangsung. Observasi ini meliputi kegiatan-kegiatan mengatasi dan memantau setiap aktivitas siswa untuk bahan kajian refleksi. Sehingga dapat diambil suatu keputusan mengenai diteruskan tidaknya penelitian tanpa perubahan, diteruskan dengan interaksi atau diganti dengan tindakan lain.

Penelitian tindakan kelas merupakan penelitian yang bersifat *reflektif* dengan melakukan tindakan yang tepat dan dilaksanakan secara *kolaboratif* (kerjasama) untuk memperbaiki atau meningkatkan hasil belajar kimia instrumen siswa dengan penyajian pembelajaran melalui model pembelajaran yang berbeda.

Penelitian tindakan kelas yang dilakukan terdiri dari 2 siklus. Dalam penelitian tindakan kelas ini menggunakan model spiral yang terdiri dari 4 tahap meliputi perencanaan, pelaksanaan tindakan, observasi, refleksi dan perbaikan rencana dalam setiap siklus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktifitas siswa yang teramati pada pembelajaran siklus I ini dapat dilihat pada tabel 1 bahwa sebagian siswa masih kurang dalam berdiskusi didalam kelompok, masih banyak melakukan aktifitas yang tidak relevan, kurang berani mengemukakan pendapat, sedangkan aktifitas siswa cukup dalam memperhatikan informasi guru, mengkaji dan menyelesaikan tugas kelompok, bertanya antar siswa, dan menghargai pendapat orang lain dalam kelompok.

Tabel 1 Aktifitas Siswa Pada Penerapan Pembelajaran Tutor Sebaya Siklus I

No	Aktifitas Siswa	Rata-rata skor yang diamati
1.	Memperhatikan informasi/ penjelasan guru	3,03

2.	Mengkaji dan menyelesaikan tugas kelompok	3,06
3.	Berperilaku yang tidak relevan	3,25
4.	Berdiskusi dalam kelompok	2,02
5.	Bertanya antar siswa	3,69
6.	Menghargai pendapat orang lain dalam kelompok	2,34
7.	Keberanian mengemukakan pendapat	2,06
	Jumlah	19,45
	Rata-rata	2,78

Sedangkan hasil observasi pada tindakan siklus II seperti dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut yaitu bahwa aktifitas siswa yang melakukan kegiatan yang tidak relevan mengalami penurunan sedangkan yang lainnya mengalami peningkatan sehingga rata-rata aktifitas siswa yang didapat menjadi 3,10.

Tabel 2 Aktifitas Siswa Pada Penerapan Pembelajaran Tutor Sebaya Siklus II

No	Aktifitas Siswa	Rata-rata skor yang diamati
1.	Memperhatikan informasi/ penjelasan guru	3,70
2.	Mengkaji dan menyelesaikan tugas kelompok	3,65
3.	Berperilaku yang tidak relevan	1,98
4.	Berdiskusi dalam kelompok	2,78
5.	Bertanya antar siswa	3,71
6.	Menghargai pendapat orang lain dalam kelompok	3,34
7.	Keberanian mengemukakan pendapat	2,59
	Jumlah	21,75
	Rata-rata	3,10

Setiap aktifitas siswa pada tiap siklus diberi skor rata-rata pengamatan dari observer. Skor pengamatan aktifitas siswa pada saat kegiatan pembelajaran dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini, berdasarkan tabel 3 diperoleh bahwa aktifitas siswa mengalami perubahan yang positif dari setiap siklusnya, rata-rata skor pengamatan

aktifitas siswa untuk tiap siklus ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3 Aktifitas Siswa Pada Penerapan Pembelajaran Tutor Sebaya

No.	Tindakan	Rata-rata
1	Siklus I	2,78
2	Siklus II	3,10

Analisis untuk keseluruhan tindakan dilakukan terhadap seluruh pembelajaran dengan menerapkan pendekatan tutor sebaya dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini, dapat dilihat pada tabel 4 yaitu pada siklus I siswa mengalami kesulitan dalam mengerjakan tugas, karena mungkin mereka belum terbiasa mengerjakan tugas dengan berkelompok. Pada pembelajaran siklus I ini, siswa mengkaji atau mempelajari materi, mengerjakan tugas kelompok dan tugas individu. Nilai tugas kelompok dan tugas individu telah tuntas, tetapi dari hasil ulangan harian dapat dilihat masih banyak siswa mengalami kesulitan dalam mengerjakan soal-soal yang diberikan.

Pada siklus II, siswa mulai memahami pengerjaan dalam tugas kelompok dan tugas individu. Siswa telah mampu mengerjakan tugas yang diberikan sehingga nilai rata-rata tugas kelompok dan tugas individu siswa pada siklus II mengalami peningkatan dibanding dengan siklus I. Meskipun demikian untuk nilai rata-rata evaluasi/ulangan harian siswa mengalami peningkatan dan mencapai KKM. Dari hasil ulangan harian dapat dilihat bahwa siswa telah mampu dalam mengerjakan soal-soal atau permasalahan yang diberikan.

Tabel 4 Analisis Seluruh Tindakan Pendekatan Pembelajaran Tutor Sebaya

No	Tindakan	Rata-Rata	Kegiatan
1	Siklus I	2,78	Aktifitas Belajar Siswa
2	Siklus II	3,10	
1	Siklus I	70,69	Tugas Kelompok
2	Siklus II	80,19	
1	Siklus I	78,25	Tugas Individu
2	Siklus II	90,49	

1	Siklus I	73,41	Ulangan Harian
2	Siklus II	76,53	
1	Siklus I	74,06	Hasil Belajar siswa
2	Siklus II	82,15	

SIMPULAN

Penerapan pendekatan tutor sebaya dapat meningkatkan aktifitas belajar siswa. Aktifitas belajar siswa yang tinggi menjadi faktor pendukung keberhasilan belajar siswa. Secara keseluruhan aktifitas belajar siswa dan nilai rata-rata hasil belajar siswa mengalami peningkatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih pada semua pihak, terutama Drs. Ajen Zaenal Hayat, M.Pd yang berkenan membantu sebagai observer, Kepala Sekolah dan rekan guru di SMK Negeri 13 Bandung yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Ding, Ning, Harskamp dan E. G, "Collaboration and Peer," *International Journal of Science Education*, 2011.
- [2] N. Sudjana, Penilaian Hasil Proses Belajar Mengajar, Bandung: Remaja Rosda Karya, 2005.
- [3] Arikunto, Suharsimi dan e. al., Penelitian Tindakan Kelas, Jakarta: Bumi Aksara, 2006.
- [4] Arikunto dan Suharsimi, Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik, Jakarta: Rineka Cipta, 2006.

Peningkatan Keterampilan Pengambilan Keputusan Siswa Kelas VIII dalam Memilih Jajanan yang Aman Dikonsumsi

FLORENTINA MARIA TITIN SUPRIYANTI*, ZACKIYAH, AFIFAH NURKAMILA, FIONA FINANDIA, SILVI OXTAVIANI, SETIA ARDI PRAJA

Universitas Pendidikan Indonesia, Jalan Dr. Setiabudhi 229. Bandung. 40154

* alamat email korespondensi: florentinasupriyanti@yahoo.co.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci : Keterampilan pengambilan keputusan; Zat aditif; Jajanan ; Siswa.</p>	<p>Jajanan disekolah khususnya SD dan SMP masih menawarkan makanan dengan penambahan zat aditif. Sementara itu terdapat zat aditif yang bersifat tidak alami, yang jika dikonsumsi berlebihan dapat membahayakan kesehatan. Berdasarkan hal tersebut siswa-siswi SD maupun SMP perlu diajarkan dampak negatif maupun positif dari penggunaan bahan aditif, sehingga diharapkan siswa secara kritis dapat memilih jajanan yang baik untuk dikonsumsi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan keterampilan pengambilan keputusan siswa dalam memilih dan menentukan jajanan yang tepat untuk dikonsumsi. Metode yang digunakan adalah Eksperimen semu (quasi eksperimen) dengan desain penelitian <i>one group pretes-posttes design</i>. Obyek dari penelitian ini adalah keterampilan pengambilan keputusan dengan 5 buah indikator. Subyek penelitian siswa kelas VIII SMP Swasta di kota Bandung, berjumlah 26 siswa. Instrumen penelitian berupa tes tertulis, bentuk isian berjumlah 5 butir soal dan lembar kerja siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan pengambilan keputusan memilih jajanan yang tepat dikonsumsi tergolong kategori sedang dengan persen nilai <gain> 62,52%. Indikator yang mengalami peningkatan paling tinggi adalah indikator membuat kesimpulan dengan kategori tinggi dan persen nilai <gain> 87,19%, sedangkan indikator yang mengalami peningkatan paling rendah adalah mengumpulkan informasi, kategori sedang dengan persen nilai <gain> 40%. Hasil analisis lembar kerja siswa menunjukkan seluruh kelompok dapat mengamati percobaan dan membuat kesimpulan dengan benar. Peningkatan keterampilan pengambilan keputusan siswa dapat ditingkatkan melalui pembelajaran di sekolah.</p>
<p>Keywords: <i>Decision making skills; Additives Snacks ; Student.</i></p>	<p><i>Snacks at schools especially elementary and junior high schools still offer food with additives. Meanwhile there are additives that are not natural, which if consumed more than normal use can endanger health. Based on this elementary and junior high school students need to be taught the negative and positive impacts of the use of additive materials, so students are expected to be able to critically choose good snacks for consumption. This study aims to improve students' decision-making skills in choosing and determining the right snacks for consumption. The method used is quasi experiment with one group pretest-posttest design. The object of this research is decision making skills with 5 indicators. The research subjects of class VIII Private Junior High Schools in the city of Bandung, amounted to 26 students. The research instrument was in the form of a written test, the form was filled in by 5 items and student worksheets. The results showed that the decision-making skills to choose the right snacks consumed were classified as moderate category with a percentage of <gain> 62.52%. The indicator that experienced the highest increase was the indicator making conclusions with the high category and the percent value <gain> 87.19%, while the indicator that experienced the lowest increase was gathering information, the medium category with the percent value <gain> 40%. The results of the analysis of the student worksheets showed that the entire group could observe the experiment and draw conclusions correctly. Improved student decision making skills can be improved through learning in school.</i></p>

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan aditif pada makanan bertujuan untuk menambahkan cita rasa, atau warna pada makanan yang dapat meningkatkan

daya tarik konsumen. Bahan aditif biasa ditambahkan kedalam produk makanan ringan, permen dan berbagai produk minuman. Jajanan di sekolah-sekolah khususnya SD dan SMP masih menawarkan makanan dengan tambahan bahan aditif. Bahan aditif dapat dikelompokkan sebagai

bahan aditif alami dan buatan (sintetis). Bahan aditif alami umumnya aman digunakan atau tidak menimbulkan gangguan pencernaan ataupun metabolisme tubuh, tetapi penggunaan bahan aditif alami tidak disukai masyarakat, selain karena jika digunakan memerlukan bahan dalam jumlah yang banyak, juga perlu penyiapan sebelum digunakan sehingga masyarakat berkecenderungan tidak menggunakan bahan aditif alami tetapi menggunakan bahan aditif sintetis. Namun demikian bahan aditif sintetis membahayakan kesehatan, karena merupakan senyawa kimia dengan struktur yang ruah dan tidak dapat dimetabolisme dalam tubuh manusia. Sehingga bahan aditif sintetis akan membahayakan kesehatan jika dikonsumsi dalam jumlah banyak atau dikonsumsi secara sering, karena akan terakumulasi dalam tubuh [1].

Bahaya Penggunaan bahan aditif perlu dipahami sejak usia dini, oleh sebab itu siswa-siswi SD maupun SMP perlu diajarkan dampak negatif maupun positif dari penggunaan bahan aditif sehingga diharapkan siswa secara kritis dapat memilih makanan yang baik untuk dikonsumsi. Keterampilan siswa untuk berpikir kritis tidak terjadi secara tiba-tiba, tetapi harus dilatihkan. Oleh sebab itu pengenalan cara memilih makanan yang menyehatkan perlu diajarkan pada siswa SD maupun SMP. Dalam menentukan sebuah pilihan ada yang dilakukan secara spontan karena terbiasa tetapi juga ada pilihan yang harus ditentukan oleh pemikiran. Menurut Edward De Bono dalam Tawil, berpikir kritis merupakan suatu keterampilan dalam memilih mana yang bernilai dari sekian banyak gagasan atau melakukan pertimbangan dari suatu keputusan [2].

Setiap hari manusia selalu memecahkan masalah dan membuat keputusan, baik di rumah, di kelas atau dimanapun dia berada. Menurut Santrock dalam Tawil, mengambil keputusan adalah sebuah pemikiran di mana individu mengevaluasi berbagai pilihan dan memutuskan pilihan dari sekian banyak pilihan. Terdapat lima macam indikator keterampilan yang diperlukan untuk mengambil keputusan, yaitu: 1) membuat pertanyaan apa yang diputuskan, 2) mengumpulkan informasi, 3) menentukan pilihan, 4) daftar pro dan kontra, 5) membuat kesimpulan [2].

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan terkait pada keterampilan pengambilan keputusan pernah dilakukan oleh Muhidin dengan hasil bahwa terdapat peningkatan yang signifikan pada skor rata-rata keterampilan pengambilan keputusan peserta didik kelas X SMAN Takalar

setelah dilakukan pendekatan inkuiri dalam pembelajaran [3]. Penelitian selanjutnya dilakukan Nur, hasilnya menunjukkan keterampilan pengambilan keputusan peserta didik kelas X SMAN Watampone dalam memecahkan masalah fisika melalui pendekatan inkuiri mencapai kriteria ketuntasan minimal yang ditetapkan di sekolah [4]

Permasalahannya adalah bagaimana pencapaian keterampilan pengambilan keputusan untuk seluruh siswa setelah pembelajaran dan bagaimana pencapaian keterampilan pengambilan keputusan siswa untuk masing-masing indikator keterampilan pengambilan keputusan pada pembelajaran zat aditif?

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan pada saat pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan di salah satu SMP swasta di kota Bandung. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Quasi Experiment (eksperimen semu). Metode eksperimen semu ini digunakan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi setelah suatu kelompok diberikan perlakuan. Perlakuannya berupa pembelajaran zat aditif dengan metode ekspositori. Desain penelitian yang digunakan adalah *one group pretest-posttest group design*, yang dapat diilustrasikan sebagai berikut:

$O_1 \text{ ----- } X \text{ ----- } O_2$

Keterangan:

O1 = Nilai Pretest

O2 = Nilai Posttest

X = Perlakuan berupa pembelajaran zat aditif untuk mengembangkan keterampilan pengambilan keputusan siswa.

Pada desain penelitian ini menggunakan 2 kali pengukuran, yaitu sebelum eksperimen (*pretest*) dan setelah eksperimen (*posttest*).

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kelas VIII SMP Laboratorium Percontohan UPI, dengan jumlah partisipan 26. Saat kegiatan berlangsung kelas dibagi dalam 6 kelompok, dengan jumlah siswa antara 5-4 orang.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian berupa Lembar kerja siswa (LKS) zat aditif. Lembar kerja siswa digunakan sebagai media dan sumber belajar siswa selama pembelajaran berlangsung. Soal tes (*pretest* dan *posttest*). Tes digunakan untuk mengetahui

perkembangan keterampilan pengambilan keputusan siswa sebelum dan sesudah pembelajaran zat aditif. Soal yang digunakan berupa soal isian, dengan jumlah 5 soal. Hasil tes dianalisis berdasarkan nilai N-Gain ' berdasarkan rumus:

$$N\text{-Gain} = \frac{\text{Skor posttest} - \text{skor pretes}}{\text{Skor maksimum} - \text{skor pretes}}$$

Pengkategorian N-Gain didasarkan pada kriteria N-Gain sesuai **Tabel 1**.

Tabel 1 Kriteria N-Gain

Nilai	Kriteria
$N\text{-Gain} \geq 0,7$	Tinggi
$0,7 > N\text{-Gain} > 0,3$	Sedang
$N\text{-Gain} < 0,3$	Rendah

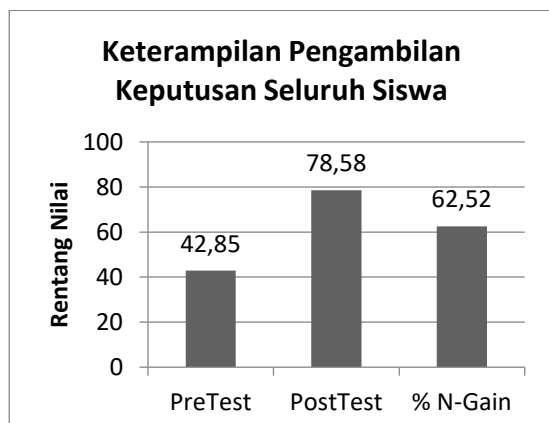
[5]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai hasil penelitian pengambilan keputusan siswa. Hasil penelitian berupa nilai *pretest*, nilai *posttest* dan hasil LKS. Hasil tersebut selanjutnya dianalisis untuk menjawab masalah pencapaian keterampilan pengambilan keputusan seluruh siswa setelah pembelajaran dan pencapaian keterampilan pengambilan keputusan siswa untuk masing-masing indikator keterampilan pengambilan keputusan pada pembelajaran zat aditif serta merumuskan simpulan.

Pencapaian Keterampilan Pengambilan Keputusan untuk Seluruh Siswa

Pencapaian keterampilan pengambilan keputusan didapat dari pembelajaran zat aditif yang meliputi pemanis, penyedap, pewarna dan pengawet. Dari lima soal yang masing-masing mewakili indikator keterampilan pengambilan keputusan didapat hasil seperti yang terdapat pada gambar 1.

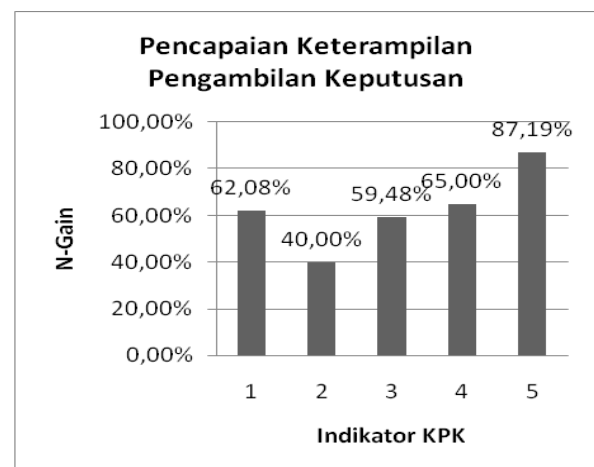


Gambar 1 Pencapaian keterampilan pengambilan keputusan untuk seluruh siswa

Pretes dilakukan sebelum pembelajaran zat aditif, digunakan untuk mengetahui keterampilan awal siswa, didapat nilai rata-rata *pretes* 42,85. Setelah pembelajaran dilakukan *posttest* dan didapat nilai *posttest* 78,58. Dari hasil pengolahan data nilai *pretes* dan *posttest* didapat nilai N-Gain sebesar 62,52% yang berada pada kategori sedang. Peningkatan keterampilan pengambilan keputusan ini diduga merupakan hasil pembelajaran yang dilakukan siswa. Hal tersebut diperkuat oleh pendapat Maryam dan Habeeb yang menyatakan bahwa pengambilan keputusan adalah keterampilan, dan keterampilan dapat ditingkatkan [6]

Pencapaian Keterampilan Pengambilan Keputusan Siswa untuk Masing-masing Indikator

Dari hasil analisis data dapat ditentukan pula tentang pencapaian keterampilan pengambilan keputusan untuk masing-masing indikator. Dari 5 indikator yang dikembangkan didapat hasil seperti gambar 2.



Gambar 2 Pencapaian keterampilan pengambilan keputusan siswa untuk masing-masing indikator

Analisis untuk masing-masing indikator keterampilan pengambilan keputusan:

Indikator 1: Membuat pertanyaan apa yang diputuskan, dengan sub indikator mengenali masalah.

Soal 1:

Perhatikan gambar berikut!



Gula tebu Gula aren Gula stevia

Gambar 3 Zat Aditif

Dari gambar tersebut, terkait dengan bahan aditif, masalah apa yang muncul dalam pikiran kalian? Tuliskan masalah tersebut dalam bentuk pertanyaan!

Berdasarkan soal tersebut, pertanyaan yang muncul dari siswa diantaranya adalah sebagai berikut:

Siswa 1: *Gambar ini mengandung zat apa?*

Siswa 2: *Apakah itu terbuat dari alam 100%
Apakah komposisinya bagus untuk dikonsumsi?*

Siswa 3: *Apa yang terjadi jika kita terlalu banyak mengonsumsi zat aditif pemanis?*

Siswa 4: *Apakah aman atau tidak?*

Siswa 5: *Gula mana yang lebih baik untuk tubuh agar tidak terkena diabetes?*

Pertanyaan yang muncul dari siswa sudah menunjukkan bahwa siswa dapat mengenali permasalahan tentang materi pemanis yang akan dipelajari. Indikator membuat pertanyaan membantu siswa untuk dapat mengenali permasalahan dan tindakan apa yang akan mereka lakukan untuk mengambil sebuah keputusan? Menurut Daniel, pada indikator mengambil keputusan siswa disadarkan bahwa sebuah keputusan dibutuhkan dalam bentuk pertanyaan, pertanyaan [7].

Dari hasil analisis didapat bahwa rata-rata nilai *pretest* adalah 8,35 dan rata-rata *posttest* adalah 15,58 dari skor maksimum 20. Dari hasil perhitungan didapat nilai N-Gain yang sebesar 62,06%, termasuk kriteria sedang. Merumuskan masalah merupakan hal yang penting dalam inkuiri [8]. Dengan melibatkan siswa dalam perumusan masalah yang dituangkan akan membuat siswa lebih termotivasi dalam pembelajaran, dan dapat menekan aktivitas siswa secara maksimal untuk mencari dan menemukan [9].

Indikator 2: Mengumpulkan informasi, dengan sub indikator: mengetahui sumber-sumber informasi. Sumber informasi diperoleh dari komposisi yang terdapat dalam kemasan makanan. Contohnya adalah sebagai berikut:





Gambar 4 Contoh-contoh Komposisi makanan

Informasi yang dimaksud adalah mencari dan mengelompokkan kandungan zat aditif yang terdapat dalam makanan sumber informasi. Dari hasil analisis didapat bahwa nilai rata-rata *pretest* adalah 4,92 dan nilai rata-rata *posttest* adalah 10,95 dari skor maksimum 20.

Dari hasil perhitungan didapat nilai N-Gain 40%, termasuk kriteria sedang. Nilai N-Gain didapat masih kurang dari 50% siswa yang sudah mampu mengumpulkan dan mengelompokkan informasi tentang zat aditif yang terdapat pada komposisi makanan dengan baik. Menurut Pamunggar, yang menjadi penentu besar kecilnya nilai siswa adalah pengetahuan tentang materinya [10]. Mengumpulkan informasi sebelum mengambil keputusan itu sangat penting, hal tersebut didukung oleh pendapat Rubeinstein dan Haberstroh atau Elbing dalam Tawil [2].

Indikator 3: Menentukan pilihan-pilihan dengan sub indikator asesmen resiko. Soal yang diberikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Jenis makanan dan pewarnanya

N o	Jenis makanan	Pewarna	Jenis pewarna
1	Es krim coklat 	Coklat	Alami
2	Es cendol 	Hijau	Alami

3	 Kerupuk melarat	Merah	<i>Buatan</i>
4	 Pacar cina	Merah	<i>Buatan</i>
5	 Rainbow cake	merah, hijau, kuning, biru	<i>Buatan</i>

Dari berbagai jenis makanan/minuman tersebut, kelompokkan berdasarkan jenis pewarnanya.

Melalui soal tersebut diharapkan siswa memiliki keterampilan menentukan pilihan makanan yang mengandung pewarna alami atau pewarna buatan, selanjutnya memilih dari makanan yang ada untuk menentukan makanan manakah yang boleh dikonsumsi dan makanan manakah yang tidak boleh dikonsumsi.

Dari hasil analisis data didapat bahwa nilai rata-rata *pretest* adalah 7,19 dan nilai rata-rata *posttest* adalah 14,81 dari skor maksimum 20. Dari hasil perhitungan didapat nilai N-Gain 59,48 %, termasuk kriteria sedang. Indikator 3, mengembangkan siswa untuk dapat menentukan yang nantinya akan menjadi bahan pertimbangan untuk mengambil keputusan.

Menurut Daniel,dkk. merumuskan alternatif keputusan dan menentukan kriteria alternatif yang akan dipilih merupakan salah satu proses dari pengambilan keputusan [7].

Indikator ke 4: Membuat daftar pro dan kontra dengan sub indikator menganalisis informasi.

Dari pembelajaran zat aditif indikator ini digunakan untuk memilih makanan yang layak dikonsumsi. Melalui beberapa pertanyaan siswa diharapkan dapat menentukan syarat-syarat konsumen memilih makanan.

Dari hasil analisis didapat bahwa nilai rata-rata *pretest* adalah 18,03 dan nilai rata-rata *posttest* adalah 19,33 dari skor maksimum 20. Dari hasil perhitungan didapat nilai N-Gain 65%, termasuk kriteria sedang.

Tahap ini termasuk kedalam tahap pemilihan, yaitu melakukan penilaian terhadap informasi kriteria yang berkaitan dengan setiap

alternatif keputusan, menggunakan aturan yang telah dibuat, merenungkan daya guna pilihan, dan mengkonfirmasi pilihan yang dipilih atau menolak kemudian memperbaikinya [7]

Indikator 5: Membuat simpulan dengan sub indikator kemampuan menganalisis percobaan. Dari pembelajaran zat aditif indikator ini dikembangkan melalui eksperimen identifikasi boraks dalam makanan menggunakan kertas kunyit. Berbasis data sekunder siswa dapat menyimpulkan dari berbagai sampel diuji makanan apa sajakah yang mengandung boraks.

Tabel 2 Identifikasi boraks dalam makanan menggunakan kertas kunyit

No.	Sampel	Warna kertas kunyit setelah ditambahkan sampel	Temuan keberadaan boraks
1.	Mie basah	Kuning	<i>Tida ada</i>
2.	Bakso	Kehijauan	<i>Tidak ada</i>
3.	Air pengawet ikan	Merah	<i>Ada</i>
4.	Daging ayam	Merah	<i>Ada</i>

Dari berbagai contoh sampel, manakah sampel yang mengandung boraks?

Jawaban : Air pengawet ikan dan daging ayam

Dari hasil simpulan terhadap sampel yang diuji, sampel air pengawet ikan dan daging ayam mengandung boraks. Boraks merupakan zat aditif yang termasuk pengempal.

Dari hasil analisis data indikator membuat simpulan didapat bahwa nilai rata-rata *pretest* adalah 4,54 dan nilai rata-rata *posttest* adalah 18,02 dari skor maksimum 20. Berdasarkan hasil perhitungan nilai N-Gain didapat 87,19%, termasuk kriteria tinggi, artinya bahwa hampir semua siswa telah dapat membuat simpulan dengan benar.

Lembar Kerja Siswa (LKS)

LKS berupa lembar kerja praktikum. LKS digunakan untuk identifikasi keberadaan boraks dalam makanan. Boraks bersifat basa akan merubah warna kertas kunyit menjadi Merah. Jadi jika sampel mengandung boraks ditetaskan pada kertas kunyit maka kertas kunyit menjadi merah. Berikut data hasil pengamatan yang dilakukan oleh siswa.

No	Jenis Bahan	Kertas Kunyit	
		Sebelum Ditambahkan Bahan	Sesudah Ditambahkan Bahan
1	Baso	Kuning	Kuning
2	Mie	Kuning	Kuning
3	Tongkol	Kuning	Kuning

4. Berdasarkan data hasil percobaan, buatlah kesimpulan bahan makanan mana yang mengandung boraks.
Dari bahan Baso, mie, Tongkol tidak ada yang mengandung boraks.

Gambar 5: Data hasil pengamatan identifikasi boraks menggunakan kertas kunyit.

Dari hasil analisis terhadap lembar kerja siswa semua kelompok telah dapat melaksanakan praktikum identifikasi boraks dalam makanan dan menyimpulkan hasil praktikum dengan benar. Menurut Sanjaya dalam Avilia, LKS yang baik jika digunakan dalam pembelajaran mampu memberikan pengalaman langsung kepada siswa berupa pengalaman konkret sebagai hasil dari aktivitas sendiri, sehingga siswa tidak hanya memiliki kemampuan kognitif melainkan memiliki keterampilan afektif dan psikomotor[11].

SIMPULAN

Dari hasil analisis data dapat disimpulkan bahwa keterampilan pengambilan keputusan dalam memilih jajanan yang aman dikonsumsi berada pada kategori sedang dengan nilai N-Gain sebesar 62,52% . Sementara itu hasil keterampilan pengambilan keputusan untuk masing-masing indikator didapat bahwa pencapaian indikator membuat pertanyaan apa yang diputuskan, mengumpulkan informasi, menentukan pilihan-pilihan, membuat daftar pro dan kontra seluruhnya berada pada kategori sedang dengan nilai N-Gain berturut-turut adalah 62,08%; 40%; 59,48% dan 65 %, sedangkan indikator membuat kesimpulan, pencapaiannya berada pada kategori tinggi dengan nilai N-Gain 87,19 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada Prodi kimia, Departemen pendidikan Kimia, FPMIPA , UPI yang telah mendanai Pengabdian Kepada Masyarakat Kelompok Bidang Kajian (KBK) Makanan.

REFERENSI

- [1] Tranggono, dkk. Bahan Tambahan Pangan (Food additives). Proyek Pengembangan Pusat Fasilitas Bersama Antar Universitas. PAU Pangan dan Gizi. UGM. Yogyakarta. 1989.
- [2] Tawil, M. & Liliarsari. *Berpikir Kompleks dan Implementasinya dalam Pembelajaran IPA*. Makasar: Badan Penerbit Universitas Negeri Makasar, hlm.140. 2013.
- [3] Muhidin, M.A. *Penerapan Pendekatan Inkuiri dalam Pencapaian Kemampuan Memecahkan Masalah Fisika pada Siswa Kelas X SMAN I Takalar*. Skripsi FMIPA UNM Makasar. Tidak diterbitkan. 2011
- [4] Nur, M. *Penerapan Pendekatan Inkuiri Terbimbing dalam Pencapaian Kemampuan Memecahkan Masalah Fisika pada Siswa Kelas X SMAN I Watampone*. Skripsi FMIPA UNM Makasar. Tidak diterbitkan. 2011
- [5] Hake, R.R. Interactive-Engagement Versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses. *American journal of Physics*. 66(1).64-74.1998
- [6] Maryam, T.A. and Habeeb, O. Theories and Strategies of Good Decision Making. *International Journal of Scientific & Technology Research*. Vol1. Issue 10. pp 51-54, 2012
- [7] Daniel, I.S dkk. Educational Evaluation & Decision Making. Indiana: Phi Delta Kappa, Incorporated Eight and Union Bloomington. 1971
- [8] Gulo, W. Strategi Belajar Mengajar. Jakarta : PT Grasindo. hlm. 90-93. 2012
- [9] Sanjaya , Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan. Bandung : Kencana. 2012.
- [10] Pamunggar, E. Pengembangan Keterampilan Pengambilan Keputusan Siswa SMA dalam Memilih Makromolekul melalui Pembelajaran

Inkuiri Terbimbing. Skripsi FPMIPA UPI
Bandung. Tidak diterbitkan.2018

- [11] Avilia,W.W. Implementasi Pembelajaran
Menggunakan LKS Berbasis Inkuiri
Terbimbing untuk Meningkatkan Keterampilan
Proses Sains Siswa Pada Topik Karbohidrat.
Skripsi FPMIPA UPI Bandung. Tidak
diterbitkan.2019

Real Time System Teknologi Berbasis STEAM dalam Revolusi Industri 4.0

YOANA NURUL ASRI^{1*}, BUDI MULYATI²

^{1,2}Universitas Nurtanio, Jl. Padjajaran No. 219

* alamat email korespondensi: ynurulasri@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: pendidikan, revolusi industri 4.0, STEAM, <i>real time system</i>, <i>softskill</i></p> <p>Keywords: <i>education, industrial revolution 4.0, STEAM, real time system, softskill</i></p>	<p>Pendidikan merupakan salah satu pilar penting dalam mempersiapkan pada kemandirian untuk menghadapi revolusi industri 4.0. Hal ini pun berimbas pada kurikulum pendidikan yang diimplementasikan pada setiap kegiatan proses pengajaran. Berbagai bentuk pembelajaran pun terus diterapkan baik secara teori maupun praktek untuk mendukung kesiapan siswa dalam menghadapi revolusi industri 4.0. Pendekatan dan metode pembelajaran pun berkembang secara dinamis mengikuti kebutuhan zaman. Salah satunya melalui pendekatan STEAM (<i>Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics</i>) untuk meningkatkan kemampuan berpikir kreatif, kritis, logis, problem solving, dan kerjasama antar tim. Unsur <i>science</i> dalam STEAM tidak terlepas dari prinsip kimia sebagai <i>central of science</i>. Pendidikan kimia merupakan cakupan dari pendidikan global yang perlu di sisipkan pendekatan STEAM melalui pengembangan teknologi <i>real time system</i>. Berbagai manfaat akan diperoleh dengan penggunaan <i>real time system</i> pada berbagai aspek kehidupan, salah satunya melalui unsur kecepatan dan ketepatan dalam memproses sebuah keputusan ataupun hasil pengamatan melalui teknologi-teknologi sederhana yang dapat diajarkan di dunia pendidikan. Melalui penerapan teknologi khususnya dalam dunia <i>science</i> ini dapat membuka cakrawala siswa yang bukan hanya memiliki kemampuan akademik namun dapat mengembangkan <i>softskill</i> yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di era revolusi industri 4.0.</p> <p><i>Education is one of the important pillars in preparing for independence to face the industrial revolution 4.0. This also has an impact on the educational curriculum that is implemented in every activity of the teaching process. Various forms of learning continue to be applied both in theory and practice to support students' readiness in facing the industrial revolution 4.0. Learning approaches and methods develop dynamically according to the needs of the times. One of them is through the STEAM approach (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics) to improve the ability to think creatively, critically, logically, problem solving, and teamwork. The element of science in STEAM is inseparable from the principle of chemistry as central of science. Chemical education is the scope of global education that needs to be embedded in the STEAM approach through the development of real time system technology. Various benefits will be obtained by the use of real time systems in various aspects of life, one of them through the element of speed and accuracy in processing a decision or the results of observation through simple technologies that can be taught in the world of education. Through the application of technology, especially in the world of science, it can open up the horizons of students who not only have academic skills but can develop the soft skills needed to face challenges in the era of the industrial revolution 4.0.</i></p>

PENDAHULUAN

Salah satu hal penting untuk membangun peradaban ialah melalui proses pendidikan. Saat ini, Indonesia tengah menghadapi abad 21 dan tantangan revolusi industri 4.0 Tantangan inilah yang harus kita seimbangi agar kehidupan bisa berkembang mengikuti jaman, salah satunya melalui pendidikan dengan pendekatan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics*) yang mampu meningkatkan kemampuan berpikir kreatif,

kritis, logis, problem solving, dan kerjasama antar tim [1][2].

Kemampuan-kemampuan inilah yang menjadi modal dasar bagi siswa –siswi di Indonesia yang beberapa tahun kedepan akan menjadi penerus bahkan pemimpin bangsanya. Salah satu mata pelajaran yang dapat diintegrasikan melalui pendekatan STEAM adalah kimia.

Kimia merupakan mata pelajaran yang membahas mengenai susunan, struktur, sifat, dan perubahan materi. Kimia menjembatani beberapa mata pelajaran lainnya seperti fisika, biologi, geografi, dan ilmu pengetahuan lainnya. Kimia

banyak diterapkan oleh berbagai industri. Industri ini tengah memasuki era yang begitu pesat dan terus berkembang melalui perangkat teknologi yang digunakan.

Berbagai teknologi telah diciptakan, beberapa diantaranya menggunakan variabel waktu. Variabel inilah yang menjadi ujung tombak sebuah teknologi dapat terus dipakai atau tergantikan oleh teknologi lainnya yang lebih cepat dan akurat. Real time teknologi merupakan salah satu hal yang membuat teknologi terus digunakan. Karena berbagai manfaat yang dapat memberikan informasi sesuai dengan kenyataannya. Dalam dunia pendidikan pun, teknologi ini dapat diajarkan melalui pendekatan STEAM untuk menumbuhkan karakter siswa yang lebih siap dalam menghadapi revolusi industri 4.0.

METODE

Pendekatan dalam penelitian ini menggunakan studi literatur, yakni mengelaborasi secara sistematis dari berbagai konsep tentang pendidikan berbasis STEAM dalam revolusi industri 4.0 yang bersumber dari jurnal, buku dan penelitian yang relevan guna mengkonstruksi tentang kebutuhan pendidikan saat ini melalui model pembelajaran STEAM dalam *real time system* teknologi.

ANALISIS

Pendidikan STEAM dalam Revolusi Industri 4.0

STEM merupakan empat pilar utama dalam pembelajaran yang mengkomodifikasi pendidikan sains, teknologi, teknik, dan matematika [3]. Namun tambahan aspek lainnya melalui bidang Art menjadikan istilah ini dikenal menjadi sebutan STEAM (*Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics*). Melalui pendekatan ini siswa diajarkan untuk memahami konsep dan mengaplikasikannya melalui dunia kerja [4].

Pendekatan ini diajarkan melalui teknologi terkini, sehingga siswa dapat atraktif untuk mempelajari berbagai teknologi canggih berbasis real time system, salah satunya melalui GPS [5]. Dalam pendidikan kimia, dapat diselipkan berbagai pembelajaran berbasis teknologi dengan mengaplikasikan pendekatan STEAM didalamnya.

Tuntutan ranah pendidikan dibebankan pada seorang guru, yang paling tidak memiliki

lima jenis kecakapan, dan salah satunya ialah melibatkan siswa dalam menggali interkoneksi antara pengetahuan yang diperolehnya dengan isu dunia nyata (*real world*), termasuk dalam penggunaan teknologi [6] sehingga pengenalan dan pengembangan kemampuan memahami teknologi harus terus diasah untuk meningkatkan kemampuan berpikir kreatif, kritis, logis, *problem solving*, dan kerjasama antar tim sehingga kecerdasan majemuk akan terbentuk

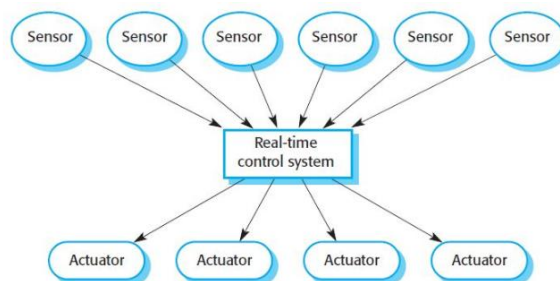
Real Time System dalam Teknologi

Waktu nyata (bahasa inggris: *realtime*) adalah kondisi pengoperasian dari suatu sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang dibatasi oleh rentang waktu dan memiliki tenggat waktu (*deadline*) yang jelas, relatif terhadap waktu suatu peristiwa atau operasi terjadi.

Real Time System harus memberikan respon terhadap stimulasi yang diberikan. Stimulasi dibagi menjadi (dua) secara waktu:

1. Periodic Stimuli dapat diprediksi kemunculannya berdasarkan interval waktu tertentu. Sistem akan mengeksekusi sensor tiap 50 milidetik
2. Aperiodic Stimuli, biasanya disinyalkan menggunakan mekanisme interupsi komputer Sistem akan diinterupsi jika adanya input output yang telah siap

Periodic Stimuli digunakan pada *real time system* dengan penggunaan sensor yang saling terkait. Sistem merespon yang diberikan oleh sensor, lalu sistem memberikan perintah kepada aktuator (aktuator = komponen penggerak) Model Sensor–Sistem–Aktuator merupakan Sistem Real Time [7].



Gambar 1 Model Real Time System [8]

Real time berfokus pada ilmu tentang cara memperoleh, menyimpan, mempresentasikan, menyebarluaskan dan pemanfaatan teknologi

dalam pelayanan masyarakat (*customer service*) menggunakan data serta informasi untuk keperluan pelayanan, memecahkan masalah, dan membuat keputusan.

Penggunaan *real time system* pada berbagai aspek kehidupan, salah satunya melalui unsur kecepatan dan ketepatan dalam memproses sebuah keputusan ataupun hasil pengamatan melalui teknologi-teknologi sederhana.

Real time adalah teknologi yang membuat pengguna dan provider berinteraksi dalam waktu yang sama. Banyak alat telekomunikasi yang memfasilitasi komunikasi dua arah menggunakan teknologi *real time*. Bukan hanya itu, dalam aspek lain seperti industri pun menggunakan data ini. *Real time database* adalah database yang menggunakan *real time processing* untuk menangani data yang nilainya terus berubah.

SIMPULAN

Real time system teknologi banyak dimanfaatkan dalam dunia industri dan dapat dipelajari dalam dunia pendidikan melalui pendekatan STEAM khususnya dalam kimia. Penggunaan teknologi menjadi sebuah tantangan dalam menghadapi abad ke 21 dan era revolusi industri 4.0 ini. Melalui pendekatan STEAM menjadikan siswa sebagai generasi penerus memiliki kesiapan dan kecerdasan majemuk sesuai dengan era di masa depan.

REFERENSI

- [1] Alsop, S., & Watts, M. (2003). Science education and affect. *International Journal of Science Education*, 25, 1043–1047.
- [2] Koballa, J. E., & Glynn, S. (2007). Attitudinal and Motivational Constructs in Science Learning.
- [3] Chew Cheng Meng, Noraini Idris & Leong Kwan Eu (2014). Secondary Students' Perceptions of Assessments in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). (2010). *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10(3), 219-227.
- [4] Turner, K.B. (2013). Northeast Tennessee Educators' Perception of STEM Education Implementation. Doctor of Education Dissertation, East Tennessee State University.
- [5] Barker, Bradley ;Nugent, Gwen' Grandgenett, Neal; Adamchuk, Viacheslay. Impact of Robotic and Geospatial Technology Interventions on Youth STEM Learning and Attitudes. *JRTE*. Vol. 42. No. 4 pp. 391-408
- [6] Direktorat Pembinaan Sekolah Atas, Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan. (2017). Panduan Implementasi kecakapan Abad 21 Kurikulum 2013 di Sekolah Menengah Atas, 21st Century Skills.
- [7] Kurniawan, Defri. (2013) *Rekayasa Perangkat Lunak Lanjut*. Handbook of Education Fasilkom.
- [8] Sommerville, Ian. (2011). *Software Engineering (Rekayasa Perangkat Lunak)*. Jakarta: Erlangga.

Pemilihan Sistem Kromatografi untuk Penentuan Kemurnian Radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin

WITRI NURAENI,^{1*} EVA MARIA WIDYASARI,¹ DAN MAULA EKA SRIYANI¹

¹Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan-BATAN, Jl. Tamansari 71 Bandung

* alamat email korespondensi: witri@batan.go.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Kata Kunci: kuersetin; penemuan obat baru; teknesium-99m; kemurnian radiokimia; kromatografi.	Kuersetin merupakan senyawa flavonol yang terdapat dalam buah dan sayur yang memiliki sifat antioksidan paling tinggi diantara polifenol lainnya. Flavonoid merupakan kelompok senyawa fenolik yang banyak terdapat pada jaringan tumbuhan yang dapat berperan sebagai antioksidan. Penelitian-penelitian mengenai peranan flavonoid pada tingkat sel secara in vivo maupun invitro membuktikan adanya korelasi antara asupan flavonoid dengan resiko munculnya penyakit kronis seperti kanker. Aplikasi teknik nuklir dapat digunakan untuk memperpendek waktu yang diperlukan dalam penemuan obat baru. Kandidat obat yang berasal dari bahan alam ditandai dengan suatu radioisotop membentuk senyawa bertanda. Syarat yang harus dipenuhi sebelum dilakukan uji klinis maupun preklinis adalah unsur penanda terikat stabil pada molekul yang ditandai dengan kemurnian radiokimia di atas 90%. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sistem kromatografi yang sesuai pada penentuan kemurnian radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin. Metode penandaan yang dilakukan adalah metode tidak langsung dimana kuersetin ditandai radionuklida teknesium-99m dengan bantuan <i>bifunctional agent</i> DTPA (dietilen triamin pentaasetat) sehingga diharapkan terbentuk senyawa ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin. Selanjutnya dilakukan kromatografi kertas dan lapis tipis dengan variasi fase gerak. Berdasarkan hasil penelitian ini, sistem kromatografi yang sesuai untuk penentuan kemurnian radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin adalah TLC-SG dengan fase gerak aseton kering untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas dan ITLC-SG dengan fase gerak NaCl fisiologi untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$.
Keywords: quercetin; new drugs discovery; technetium-99m; radiochemical purity; chromatography.	<i>Quercetin is a flavonol compounds contained in fruits and vegetables that have the highest antioxidant properties of polyphenols among others. Flavonoid is a group of phenolic compounds found in many plant tissues that can act as an antioxidant. Studies of the role of flavonoid on cell level in vivo and in vitro prove a correlation between flavonoid intake with the risk of the emergence of chronic diseases such as cancer. The application of nuclear techniques can be used to shorten the time required in new drugs discovery. Candidate drug derived from natural material is labelled with a radioisotope to form labelled compound. Requirement that must be met before clinical and preclinical test, marker element is bound to the ligand stable with radiochemical purity above 90%. This study aims to determine the chromatography system appropriate to the determination of radiochemical purity of ^{99m}Tc-DTPA-quercetin. Method of labelling is an indirect method in which quercetin labelled radionuclide technetium-99m with the help bifunctional agent DTPA (diethylene triamine pentaacetate) that is expected to form a compound ^{99m}Tc-DTPA-quercetin. Furthermore, the paper and thin-layer chromatography with mobile phase variation. Based on these results, the chromatography system suitable for the determination of radiochemical purity of ^{99m}Tc-DTPA-quercetin is TLC-SG with dry acetone mobile phase to separate free $^{99m}\text{TcO}_4^-$ and ITLC-SG with NaCl 0,9% mobile phase to separate $^{99m}\text{TcO}_2$</i>

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara tropis memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia. Dalam beberapa tahun terakhir manusia di dunia lebih banyak beralih ke produk obat yang berasal dari alam untuk kesehatannya [1]. Kelompok senyawa alami yang bisa dimanfaatkan untuk menjaga

kesehatan dan mengobati suatu penyakit disebut sebagai senyawa fitokimia [2]. Senyawa fitokimia tanaman yang memberikan efek farmakologis adalah senyawa metabolit sekunder, antara lain minyak atsiri, flavonoid, alkaloid, steroid, dan triterpenoid yang memberikan aroma, rasa, dan bau yang spesifik pada tanaman asalnya [3]. Flavonoid sebagai salah satu kelompok senyawa fenolik yang banyak terdapat pada jaringan

tanaman dapat berperan sebagai antioksidan. Aktivitas antioksidatif flavonoid bersumber pada kemampuannya mendonasikan atom hidrogennya atau kemampuannya mengkelat logam. Penelitian-penelitian mengenai peranan flavonoid pada tingkat sel secara *in vivo* maupun *invitro* membuktikan pula adanya korelasi antara asupan flavonoid dengan resiko munculnya penyakit kronis seperti kanker [4]. Kuersetin merupakan salah satu senyawa dari kelas flavonoid yang disebut flavonol. Diantara flavonoid, kuersetin memiliki kelimpahan paling tinggi di alam yang terdiri dari dua molekul cincin dan lima gugus hidroksil. Kuersetin ditemukan dalam banyak makanan umum seperti buah-buahan, sayuran, teh, bawang, dan kacang-kacangan [5].

Permasalahan penemuan obat baru dan atau pengembangan obat yang menjamin keamanan dan efikasinya, umumnya terletak pada faktor biaya, lamanya waktu, dan tahapan penelitian yang harus dilalui. Salah satu alternatif inovasi yang dapat dikembangkan untuk memperpendek waktu dan memperkecil biaya investasi yang dibutuhkan adalah dengan memanfaatkan teknologi nuklir. Bahan obat yang akan diteliti ditandai dengan suatu radioisotop dengan syarat unsur penanda terikat stabil pada molekul yang ditandai membentuk senyawa bertanda dengan tingkat kemurnian radiokimia di atas 90% yang selanjutnya dapat digunakan untuk uji preklinis maupun klinis obat tersebut [6].

Kemurnian radiokimia adalah fraksi dari total radioaktivitas dalam bentuk kimia yang diinginkan dalam senyawa bertanda [7]. Pengotor radiokimia dapat mempengaruhi keberhasilan penyidikan dalam uji preklinis maupun klinis. Analisis kemurnian radiokimia dapat dilakukan dengan metode kromatografi baik kertas maupun lapis tipis menggunakan eluen yang sesuai [6]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sistem kromatografi yang sesuai pada penentuan kemurnian radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin. Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan senyawa bertanda dengan metode tidak langsung yaitu penandaan kuersetin dengan radionuklida teknesium-99m dengan bantuan *bifunctional agent* DTPA (dietilen triamin pentaasetat) sehingga diharapkan terbentuk senyawa ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin. Selanjutnya dilakukan optimasi sistem kromatografi menggunakan berbagai fase diam dan fase gerak.

Permasalahan penemuan obat baru dan atau pengembangan obat yang menjamin keamanan dan efikasinya, umumnya terletak pada faktor biaya, lamanya waktu, dan tahapan penelitian yang harus

dilalui. Salah satu alternatif inovasi yang dapat dikembangkan untuk memperpendek waktu dan memperkecil biaya investasi yang dibutuhkan adalah dengan memanfaatkan teknologi nuklir. Bahan obat yang akan diteliti ditandai dengan suatu radioisotop dengan syarat unsur penanda terikat stabil pada molekul yang ditandai membentuk senyawa bertanda dengan tingkat kemurnian radiokimia di atas 90% yang selanjutnya dapat digunakan untuk uji preklinis maupun klinis obat tersebut [6].

Kemurnian radiokimia adalah fraksi dari total radioaktivitas dalam bentuk kimia yang diinginkan dalam senyawa bertanda [7]. Pengotor radiokimia dapat mempengaruhi keberhasilan penyidikan dalam uji preklinis maupun klinis. Analisis kemurnian radiokimia dapat dilakukan dengan metode kromatografi baik kertas maupun lapis tipis menggunakan eluen yang sesuai [6]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sistem kromatografi yang sesuai pada penentuan kemurnian radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin. Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan senyawa bertanda dengan metode tidak langsung yaitu penandaan kuersetin dengan radionuklida teknesium-99m dengan bantuan *bifunctional agent* DTPA (dietilen triamin pentaasetat) sehingga diharapkan terbentuk senyawa ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin. Selanjutnya dilakukan optimasi sistem kromatografi menggunakan berbagai fase diam dan fase gerak.

EKSPERIMEN

Material

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kuersetin (Sigma Aldrich), SnCl_2 (Sigma Aldrich), DTPA (Fluka), $^{99m}\text{TcO}_4^-$ yang berasal dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, NaOH 1 N, HCl 0,1 N, aquabidest, fase gerak (aseton kering, etanol, asetonitril, asetonitril 50%, NaOH 0,1 N, NaCl fisiologis), fase diam (TLC-SG, ITLC-SG, Whatman 3, Whatman 31ET, Whatman 3MM), indikator pH universal, syringe.

Instrumentasi

Alat yang digunakan adalah *TLC-scanner*, *dose calibrator*, neraca analitik, *vortex mixer*, kolom kromatografi, vial 10 mL, pinset.

Prosedur

Pada bagian eksperimen ini harus menggunakan referensi jika metode yang digunakan menggunakan metode yang telah dilakukan orang lain. Berilah keterangan jika metode itu telah dimodifikasi.

Pembuatan Senyawa Bertanda ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin

Larutan kuersetin dibuat dengan melarutkan 5 mg kuersetin ke dalam 500 μL NaOH 0,1 N lalu ditambah aquabidest sampai volume 5 mL. Larutan Sn-DTPA dibuat dengan melarutkan 5 mg SnCl_2 ke dalam 5 mL larutan DTPA. Senyawa bertanda ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin dibuat dengan cara menambahkan 750 μL Sn-DTPA ke dalam vial yang berisi 500 μL kuersetin. Setelah itu larutan diatur mejadi pH 6 dan ke dalamnya ditambahkan 500 μL larutan $^{99m}\text{TcO}_4^-$ lalu dikocok hingga homogen. Larutan diinkubasi selama 30 menit pada suhu kamar.

Pembuatan Larutan Blanko

Larutan blanko terdiri dari $^{99m}\text{TcO}_4^-$ yang berasal dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ dan $^{99m}\text{TcO}_2$ yang dibuat dengan mereaksikan 500 μL larutan SnCl_2 dengan 500 μL larutan $^{99m}\text{TcO}_4^-$.

Uji Kemurnian Radiokimia Pada Berbagai Sistem Kromatografi

Setelah semua larutan blanko maupun senyawa bertanda ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin diinkubasi, dilakukan proses kromatografi dengan cara meneteskan larutan masing-masing sebanyak 2 μL pada titik nol fase diam dan dielusi menggunakan fase geraknya sesuai kombinasi pada Tabel 1 dalam suatu kolom kromatografi menaik. Kemudian kertas kromatografi maupun lapis tipis dicacah menggunakan *TLC-Scanner*.

Tabel 1 Kombinasi Fase Diam dan Fase Gerak

No	Pemisahan Pengotor	Sistem Kromatografi	
		Fase Diam	Fase Gerak
	$^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas	TLC-SG	Aseton kering
		TLC-SG	Etanol
		Whatman 31ET	Asetonitril
	$^{99m}\text{TcO}_2$	ITLC-SG	NaOH 0,1 N
		ITLC-SG	NaCl Fisiologi
		Whatman 3	NaOH 0,1 N
		Whatman 3MM	NaCl Fisiologi
		Whatman 31ET	Asetonitril 50%

Pemilihan Sistem Kromatografi Untuk Memisahkan Pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ Bebas

Sistem kromatografi yang digunakan untuk pemisahan $^{99m}\text{TcO}_4^-$ adalah kombinasi fase diam dan fase gerak TLC-SG/aseton kering, TLC-SG/etanol, dan Whatman 31ET/asetonitril. Diamati persentase Rf 1 pada senyawa $^{99m}\text{TcO}_4^-$, $^{99m}\text{TcO}_2$, dan ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin pada berbagai sistem kromatografi. Dilakukan eliminasi terhadap sistem kromatografi yang memiliki persentase jauh berbeda dari yang lainnya. Sistem kromatografi yang memiliki persentase paling besar dipilih untuk memisahkan $^{99m}\text{TcO}_4^-$. Apabila terdapat persentase yang sama, maka diamati pemisahan pada blanko $^{99m}\text{TcO}_2$. Sistem kromatografi yang memiliki persentase paling kecil pada blanko $^{99m}\text{TcO}_2$ dipilih untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas.

Pemilihan Sistem Kromatografi Untuk Memisahkan Pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$

Sistem kromatografi yang digunakan untuk pemisahan $^{99m}\text{TcO}_2$ adalah kombinasi fase diam dan fase gerak ITLC-SG/NaOH 0,1 N, ITLC-SG/NaCl fisiologi, Whatman 3/NaOH 0,1 N, Whatman 3MM/NaCl fisiologi, dan Whatman 31ET/asetonitril 50% seperti yang tertera pada Tabel 1. Diamati persentase Rf 0 pada senyawa $^{99m}\text{TcO}_4^-$, $^{99m}\text{TcO}_2$, dan ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin pada berbagai sistem kromatografi. Dilakukan eliminasi terhadap sistem kromatografi yang memiliki persentase jauh berbeda dari yang lainnya. Sistem kromatografi yang memiliki persentase paling besar pada blanko $^{99m}\text{TcO}_2$ dipilih untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$. Apabila terdapat persentase yang sama, maka diamati pemisahan pada blanko $^{99m}\text{TcO}_4^-$. Sistem kromatografi yang memiliki persentase paling kecil pada blanko $^{99m}\text{TcO}_4^-$ dipilih untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penandaan senyawa menggunakan radionuklida $^{99m}\text{TcO}_4^-$ dapat diperoleh pengotor dalam bentuk $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas dan ^{99m}Tc -tereduksi ($^{99m}\text{TcO}_2$) yang berbentuk partikel koloid [7]. Pada penelitian ini metoda yang digunakan untuk menentukan kemurnian radiokimia adalah kromatografi kertas dan lapis tipis menggunakan eluen (fase gerak) yang sesuai. Metode ini digunakan karena merupakan metode analitik yang biasa digunakan untuk penentuan kemurnian radiokimia. Selain itu, peralatan yang digunakan

sederhana, mudah, dan dibutuhkan cuplikan yang sedikit. Kromatografi merupakan suatu metode pemisahan campuran berdasarkan perbedaan distribusi komponen-komponennya dalam dua fase (fase diam dan fase gerak). Perbedaan distribusi dapat disebabkan adanya perbedaan kelarutan di dalam fase gerak, kemampuan menyerap atau terikat pada fase diam, muatan ionik, dan ukuran molekul [8]. Sehingga untuk memperoleh jenis fase gerak maupun fase diam yang sesuai diperlukan optimasi terlebih dahulu dengan memvariasikan berbagai fase diam dan fase gerak.

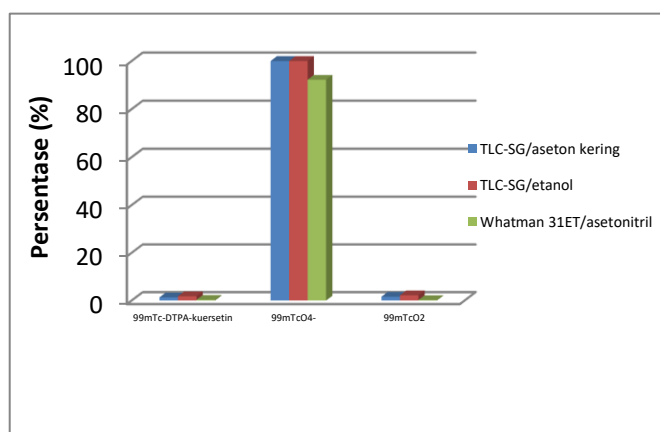
Pemilihan sistem kromatografi untuk penentuan kemurnian radiokimia suatu senyawa bertanda dilakukan berdasarkan kepolaran dari senyawa bertanda tersebut. Kepolaran suatu senyawa disebabkan adanya perbedaan keelektronegatifan dua atom. Adanya perbedaan keelektronegatifan menyebabkan pasangan elektron ikatan lebih tertarik ke salah satu unsur sehingga membentuk dipol. Adanya dipol ini menyebabkan senyawa menjadi polar. Suatu senyawa dikatakan polar jika larut dalam pelarut polar. Tingkat kepolaran suatu pelarut dapat ditentukan dengan indeks polaritas. Semakin tinggi nilai indeks polaritas maka semakin bersifat polar.

Senyawa bertanda ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin merupakan senyawa polar karena larut dalam pelarut polar seperti air. Radionuklida $^{99m}\text{TcO}_4^-$ juga merupakan senyawa polar karena larut dalam air. Dalam penelitian ini, untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas digunakan pelarut organik yang memiliki nilai polaritas di bawah air. Hasil pemisahan dari metode kromatografi diketahui dari nilai faktor retardasi (Rf) yang menggambarkan rasio jarak tempuh solut dan jarak tempuh fase gerak. Solut dalam hal ini adalah senyawa yang dipisahkan. Tabel 2 merupakan hasil kromatografi dengan pemisahan pada Rf 1 dimana solut memiliki jarak tempuh yang sama dengan fase gerak pada kertas atau lapis tipis.

Berdasarkan Tabel 2., pada blanko $^{99m}\text{TcO}_4^-$ memiliki persentase yang tinggi yaitu di atas 90%. Berbeda halnya dengan blanko $^{99m}\text{TcO}_2$ dan senyawa bertanda ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin yang memiliki persentase di bawah 3%. Hal ini menunjukkan bahwa pada sistem kromatografi tersebut, $^{99m}\text{TcO}_4^-$ ikut terbawa fase gerak sedangkan $^{99m}\text{TcO}_2$ dan ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin tidak terbawa fase gerak. Sehingga sistem kromatografi tersebut dapat digunakan untuk menentukan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas.

Tabel 2 Variasi sistem kromatografi ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin untuk memisahkan Pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas

Sistem Kromatografi		Persentase Pengotor Pada Rf 1		
		^{99m}Tc -DTPA-kuersetin	Blanko $^{99m}\text{TcO}_4^-$	Blanko $^{99m}\text{TcO}_2$
Fase Diam	Fase Gerak			
TLC-SG	Aseton kering	$1,3 \pm 0,2$	100	$1,6 \pm 0,5$
TLC-SG	Etanol	$1,8 \pm 1,0$	100	$2,2 \pm 0,6$
Whatman 31ET	Asetonitril	$0,3 \pm 0,1$	92,2	$0,2 \pm 0,1$



Gambar 1 Persentase pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas (Rf 1) pada senyawa ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin, $^{99m}\text{TcO}_4^-$, dan $^{99m}\text{TcO}_2$

Selanjutnya menentukan salah satu sistem kromatografi yang akan dipilih untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas. Berdasarkan penelitian ini, TLC-SG dengan fase gerak aseton kering dan TLC-SG dengan fase gerak etanol memiliki persentase 100%. Hal ini menunjukkan bahwa kedua sistem kromatografi tersebut dapat memisahkan $^{99m}\text{TcO}_4^-$ dengan sangat baik. Sedangkan pada Whatman 31ET dengan fase gerak asetonitril hanya 92,2% seperti yang terlihat pada Garfik 1. Oleh karena itu, pada penelitian ini sistem kromatografi Whatman 31ET dengan fase gerak asetonitril tidak dipilih untuk menentukan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas.

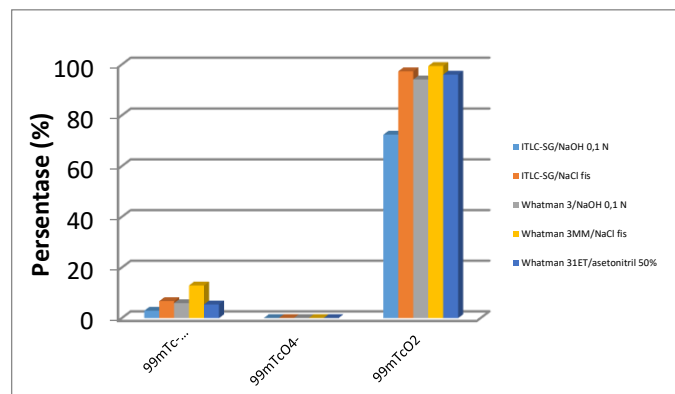
Selanjutnya memilih antara sistem kromatografi TLC-SG dengan fase gerak aseton kering dan TLC-SG dengan fase gerak etanol, ditentukan dengan melihat persentase pada blanko $^{99m}\text{TcO}_2$. Rf 1 pada blanko $^{99m}\text{TcO}_2$ menunjukkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas sehingga dipilih sistem

kromatografi yang memiliki persentase yang lebih kecil. Berdasarkan hasil penelitian ini, sistem kromatografi TLC-SG dengan fase gerak aseton kering memiliki persentase lebih kecil dibandingkan sistem kromatografi TLC-SG dengan fase gerak etanol. Oleh karena itu, sistem kromatografi TLC-SG dengan fase gerak aseton kering dapat dipilih untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas.

Pengotor radiokimia lain yang mungkin terjadi pada penandaan menggunakan radioisotop teknesium-99m adalah terbentuknya $^{99m}\text{TcO}_2$. Teknesium memiliki beberapa tingkat oksidasi dari +1 hingga +7 yang merupakan parameter penting dalam menentukan senyawa-senyawa kompleks yang dibentuk [9]. $^{99m}\text{TcO}_4^-$ yang direduksi oleh reduktor SnCl_2 dapat turun bilangan oksidasinya (biloks) dari +7 menjadi biloks yang lebih rendah sehingga dapat berikatan dengan senyawa lain. Biloks paling stabil dari teknesium dalam air adalah Tc(VII) sebagai $^{99m}\text{TcO}_4^-$. Sedangkan reduksi dari hidrolisis $^{99m}\text{TcO}_4^-$ menghasilkan produk yang tidak larut yaitu Tc(IV) sebagai $^{99m}\text{TcO}_2$ [10]. Adanya pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ maupun $^{99m}\text{TcO}_2$ dalam suatu senyawa kompleks ^{99m}Tc -tertanda dapat menghasilkan gambaran yang buruk karena latar belakang yang tinggi dari jaringan sekitar dan darah [7].

Tabel 3 Variasi sistem kromatografi ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin untuk memisahkan Pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$

Sistem Kromatografi		Persentase Pengotor Pada Rf 0		
Fase Diam	Fase Gerak	^{99m}Tc -DTPA-kuersetin	Blanko $^{99m}\text{TcO}_4^-$	Blanko $^{99m}\text{TcO}_2$
ITLC-SG	NaOH 0,1 N	$2,9 \pm 0,1$	0,0	$72,4 \pm 1,1$
ITLC-SG	NaCl Fisiologi	$6,7 \pm 0,8$	0,0	$97,3 \pm 0,8$
Whatman 3	NaOH 0,1 N	$5,9 \pm 0,9$	0,0	$94,1 \pm 0,9$
Whatman 3MM	NaCl Fisiologi	$12,9 \pm 0,8$	0,0	$99,4 \pm 0,1$
Whatman 31ET	Asetonitril 50%	$5,4 \pm 0,6$	0,0	$96,0 \pm 0,4$



Gambar 2 Persentase pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$ (Rf 0) pada senyawa ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin, $^{99m}\text{TcO}_4^-$, dan $^{99m}\text{TcO}_2$

Berdasarkan sistem kromatografi yang terpilih, kemurnian radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin yang diperoleh adalah 92,0% dengan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas sebesar 1,3% dan pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$ sebesar 6,7%.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, sistem kromatografi yang sesuai untuk penentuan kemurnian radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin adalah TLC-SG dengan fase gerak aseton kering untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_4^-$ bebas dan ITLC-SG dengan fase gerak NaCl fisiologi untuk memisahkan pengotor $^{99m}\text{TcO}_2$. Dari sistem kromatografi tersebut diperoleh persentase kemurnian radiokimia ^{99m}Tc -DTPA-kuersetin sebesar 92,0%.

REFERENSI

- [1] Hernani, Pengembangan Biofarmaka Sebagai Obat Herbal Untuk Kesehatan, Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian 2011; 7(1): 20-29.
- [2] Mohanom H., Azizah A.H, Dzulkifly M.H., Effect Of Different Drying Methods On Concentrations Of Several Phytochemicals In Herbal Preparation Of 8 Medicinal Plants Leaves, Malays J Nutr 1999; 5: 47-54.
- [3] Hernani, Sudiarto, Rahardjo M., Muhammad H., Aspek Stadia Pertumbuhan dan Pascapanen Terhadap Mutu Tempuyung, Warta Perhimpunan Peneliti Bahan Obat Alami (Perhipba) 1997; 5(IV): 14-17.
- [4] Abdi Redha, Flavonoid: Struktur, Sifat Antioksidatif, dan Peranannya Dalam Sistem Biologis, Jurnal Berlian 2010; 9(2): 196-202.

- [5] Parul Lakhanpal, Deepak Kumar Rai, Quercetin: A Versatile Flavanoid, Internet Journal of Medical Update 2007; 2(2): 22-37.
- [6] Malgorzata Materska, Quercetin and Its Derivatives: Chemical Structure and Bioactivity-A Review, Polish Journal of Food and Nutrition Sciences 2008; 58(4): 407-413.
- [7] Nanny Kartini, Prinsip Pembuatan Senyawa Bertanda, Pelatihan Petugas dan Supervisor Proses Radioisotop dan Senyawa Bertanda, Bandung, 2016.
- [8] Gopal B.Saha. Fundamentals of Nuclear Pharmacy: Quality Control of Radiopharmaceuticals. Sixth Ed. New York: Springer; 2010.
- [9] Khopkar S.M. Konsep Dasar Kimia Analitik. Jakarta: Universitas Indonesia; 1990.
- [10] Rohadi Awaludin, Radioisotop Teknesium-99m dan Kegunaannya, Buletin Alara 2011; 12(3): 61-65.
- [11] Richard J.Kowalsky. Technetium Radiopharmaceutical Chemistry: Technetium Chemistry. Albuquerque: University of New Mexico; 2006.

Potensi Limbah Elektronik Telepon Selular sebagai Pewarna

DADAN SUMARDAN

Balai Besar Keramik

* alamat email korespondensi: dadansumar@gmail.com

Informasi Artikel

Kata Kunci: Limbah elektronik;
pewarna keramik;
pemanfaatan limbah

Abstrak/Abstract

Keragaman material bahan penyusun sampah elektronik ini mempunyai "nilai" lain bila dilihat dari perspektif kriya yaitu sebagai "material kriya". Dari perspektif proses produksi kriya khususnya kriya keramik, keragaman material yang terkandung di dalam sampah elektronik dapat menghasilkan efek tak terduga dan memberikan inspirasi pada penciptaan produk kriya. Melalui perspektif kriya, sampah elektronik dapat mempunyai nilai tambah yang tinggi, karena mempunyai potensi dalam memberikan inspirasi pengolahan material untuk menciptakan sebuah produk kriya. Fenomena yang dapat ditangkap adalah Kompleksitas material yang terkandung di dalam sampah elektronik dapat menghasilkan efek-efek tak terduga dan memberikan inspirasi pada penciptaan produk kriya khususnya kriya keramik. Efek yang dimaksud adalah efek warna, tekstur yang dihasilkan ketika material sampah dijadikan komponen penunjang di dalam pembuatan glasir keramik. Dari fokus permasalahan ini dapat dirumuskan permasalahan penelitian yaitu adakah perbedaan efek estetik (warna dan tekstur) yang dihasilkan oleh setiap jenis material sampah elektronik bila material ini dijadikan komponen glasir keramik?. Metode untuk mengetahui efek-efek yang dihasilkan oleh material yang terkandung di dalam sampah elektronik adalah mencampur material sampah elektronik dengan sebuah komposisi glasir. Glasir kemudian ini diaplikasikan pada benda coba berupa benda keramik. Dalam temuan, muncul warna dan tekstur yang unik sebagai reaksi yang tidak dapat diprediksi dari warna objek yang diinginkan.

Keywords: e-waste; ceramic colorants; waste utilizing

The diversity of materials in the composition of electronic waste has another "value" when viewed from the perspective of the craft, namely as "craft material". From the perspective of the craft production process, especially ceramics crafts, the diversity of materials contained in electronic waste can produce unexpected effects and inspire the creation of craft products. From a craft perspective, electronic waste can have high added value, because it has the potential to inspire material processing to create a craft product. The phenomenon that can be captured is the complexity of the material contained in electronic waste can produce unexpected effects and provides inspiration for the creation of craft products, especially ceramics. The intended effect is the color, texture effect that is produced when the waste material is used as a supporting component in the manufacture of ceramic glaze. From the focus of this problem a research problem can be formulated, namely is there a difference in the aesthetic effect (color and texture) produced by each type of electronic waste material if this material is used as a component of ceramic glaze?. The method to determine the effects produced by the material contained in electronic waste is to mix electronic waste material with a glaze composition. Glaze is then applied to the object in the form of ceramic objects. In the findings, unique colors and textures appear as unpredictable reactions of the desired object color.

PENDAHULUAN

Pada saat ini sangat jarang ditemukan produk yang terbuat dari satu jenis bahan/material. Produk industri terutama telepon selular banyak tersusun dari berbagai macam material. Sampah yang dihasilkannya pun terdiri dari berbagai macam material yang kompleks. Tanskanen[1] mengidentifikasi komposisi sampah elektronik telepon selular berdasarkan penyusunnya terdiri

dari 45% plastik, 35% logam, 10% kaca dan keramik, 9% elektroda batere, 0,11% logam mulia, dan lain-lain 0,9%.

Keragaman bahan penyusun sampah elektronik ini sangat sulit untuk dipisah-pisahkan dan biaya untuk mendaur ulang material yang ada di dalamnya relatif tinggi. Makin kompleks limbah elektronik, makin tidak berharga suatu limbah jika dikaitkan dengan masalah efisiensi biaya dalam proses mendaur ulangnya. Pada kasus yang

ditangani oleh Andarini dalam menaksir kelayakan ekonomi pendirian fasilitas pengelolaan sampah elektronik rumah tangga [2] tampak bahwa dalam analisisnya unsur biaya untuk pembongkaran (dismantling) cukup signifikan yaitu sebesar Rp 17.498.832.845,00, dibandingkan dengan biaya pemrosesan akhir, dan biaya transportasi.

Keragaman material bahan penyusun sampah elektronik ini mempunyai "nilai" lain bila dilihat dari perspektif kriya yaitu sebagai "material kriya". Kriya dikenal sebagai kegiatan yang berorientasi kepada material. Ini adalah pendapat Nimkulrat[3]. Nimkulrat mengatakan bahwa material adalah inti dari kriya. Teknik, fungsi, dan bentuk dimunculkan dan dieksploitasi setelah material difahami. Hal ini berbeda dengan bidang desain yang lain. Secara awam dapat dikatakan seorang desainer memilih material berdasarkan produk yang akan dibuat, sedangkan pekriya membuat produk berdasarkan material yang dimilikinya.

Dari perspektif proses produksi kriya khususnya kriya keramik, keragaman material yang terkandung di dalam sampah elektronik dapat menghasilkan efek tak terduga dan memberikan inspirasi pada penciptaan produk kriya. Melalui perspektif kriya, sampah elektronik dapat mempunyai nilai tambah yang tinggi, karena mempunyai potensi dalam memberikan inspirasi pengolahan material untuk menciptakan sebuah produk kriya.

Ide mengenai pemanfaatan sampah sebagai material kriya/desain bukanlah hal yang sama sekali baru. Ada beberapa peneliti yang pernah mencobanya. Pemanfaatan yang paling biasa dilakukan adalah bidang yang dikenal dengan *creative reuse*. Model pemanfaatan *creative reuse* ini pernah dilakukan oleh Sadah [4]. Pada penelitiannya Sadah mengubah sampah elektronika menjadi barang kesenian dan kerajinan.

Ada kemiripan antara model "creative reuse" dengan penelitian ini di dalam proses desainnya. Keduanya sama berawal dari limbah produk industri (dalam hal ini elektronika), namun model *creative reuse* tahapannya sampai pada mendaur ulang bentuk atau nilai representasi sampah sebagai sebuah dekorasi. Unsur-unsur material yang terkandung di dalam sampah elektronika tidak menjadi penting pada model daur ulang seperti ini.

Penelitian mengenai penanganan masalah limbah elektronik menurut perspektif kriya dalam mengolah unsur-unsur material yang terkandung di dalam limbah elektronik belum pernah dilakukan. Dalam penelitian ini yang akan dikedepankan adalah penanganan limbah elektronik yang mengandung material yang kompleks. Fenomena yang dapat ditangkap adalah Kompleksitas material yang terkandung di dalam sampah elektronik dapat menghasilkan efek-efek tak terduga dan memberikan inspirasi pada penciptaan produk kriya khususnya kriya keramik. Efek yang dimaksud adalah efek warna, dan tekstur yang dihasilkan ketika material sampah dijadikan komponen penunjang di dalam pembuatan glasir keramik.

Dari fokus permasalahan ini dapat dirumuskan permasalahan penelitian yaitu adakah perbedaan efek estetika (warna dan tekstur) yang dihasilkan oleh setiap jenis material sampah elektronik telepon selular bila material ini dijadikan komponen glasir keramik? Penelitian ini memfokuskan pada proses menganalisa efek-efek yang dapat dihasilkan oleh setiap jenis sampah elektronik. Dari penelitian ini dapat diperoleh data mengenai efek visual yang dihasilkan oleh setiap jenis material sampah. Data ini dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan efek estetika dalam penciptaan karya kriya keramik terutama dalam proses pengembangan glasir.

Berdasarkan pengalaman dalam pembuatan glasir keramik akan ada perbedaan pada setiap jenis material sampah ketika diaplikasikan sebagai glasir karena kandungan unsur dalam material berbeda-beda. Perbedaan ini memberikan efek yang berbeda juga terhadap efek estetika yang dihasilkannya.

Limbah Elektronika

Menurut Baldé dkk [5] limbah elektronik, atau *e-waste*, mengacu pada semua jenis limbah peralatan listrik dan elektronik. Limbah elektronik merupakan bagian yang telah dibuang oleh pemiliknya sebagai limbah tanpa niat untuk digunakan kembali. *E-waste* juga disebut sebagai WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), limbah elektronik atau *e-scrap*. Termasuk ke dalam limbah elektronik adalah berbagai macam produk rumah tangga, barang-barang konsumsi yang mengandung sirkuit atau komponen listrik, barang konsumsi tersebut biasanya mempunyai komponen catu daya atau

baterai. Kelompok-kelompok *e-waste* atau limbah elektronik menurut Baldé:

1. Peralatan pertukaran suhu, biasa disebut sebagai peralatan pendingin dan pembeku. Peralatan seperti ini termasuk lemari es, *freezer*, pendingin udara, alat pemanas.
2. Layar, monitor. Peralatan khas termasuk televisi, monitor pada laptop, monitor notebook, dan tablet.
3. Lampu, termasuk lampu neon lampu, lampu debit intensitas tinggi, dan lampu LED.
4. Peralatan rumah tangga berukuran besar, termasuk mesin cuci, pengering pakaian, mesin pencuci piring, kompor listrik, mesin cetak elektronik, dan panel sel surya.
5. Peralatan elektronik kecil, termasuk penyedot debu, microwave, peralatan ventilasi, pemanggang roti, ketel listrik, alat cukur listrik, timbangan listrik, kalkulator, radio, video kamera, mainan listrik dan elektronik, alat listrik dan elektronik kecil, perangkat medis kecil, dan instrumen pemantau berukuran kecil.
6. Peralatan teknologi informasi kecil dan alat telekomunikasi, termasuk ponsel, Sistem Penentu Posisi Global (GPS), kalkulator saku, router, komputer pribadi, dan telepon.

Pengelompokan yang dibuat oleh Baldé dkk, merupakan bahan rujukan yang cukup membantu dalam percobaan ini. Limbah ponsel merupakan limbah elektronik yang berada dalam kelompok 6 dari pengelompokan menurut Baldé, yaitu kelompok alat teknologi informasi kecil dan alat komunikasi kecil.

Telepon Selular

Telepon selular (kadang-kadang disebut dengan ponsel) adalah alat komunikasi radio pribadi dua arah. Ponsel mempunyai ukuran yang relatif kecil dan mempunyai muatan teknologi relatif tinggi. Ponsel dapat mengirim dan menerima sinyal radio, sehingga dapat terhubung dengan ponsel lainnya bahkan dengan telepon rumah yang dihubungkan dengan kabel. Komunikasi antar ponsel tersebut berupa pertukaran suara. Pada saat ini ponsel berfungsi sebagai sarana komunikasi utama di tempat yang tidak terdapat infrastruktur komunikasi melalui kabel [6].

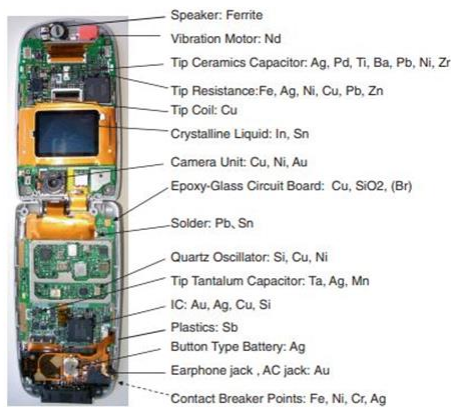
Ponsel terdiri dari beberapa komponen dasar. Komponen yang pertama adalah Handset. Handset terdiri dari chasing (biasanya berbahan plastik), layar (monokrom atau berwarna), papan tombol (*keypad*), dan antenna. Komponen kedua berupa Printed Circuit Board (PCB). PCB ini mengandung Chip, resistor, kapasitor, dan kabel. PCB ini merupakan komponen penting dalam sebuah ponsel. Sebuah ponsel mempunyai komponen yang tidak kalah pentingnya dengan PCB, yaitu Baterai. Komponen terakhir dari ponsel adalah mikrofon dan speaker. Semua komponen ini memungkinkan kita untuk mengirim dan menerima panggilan lewat ponsel.

Ponsel adalah produk yang sangat kompleks [7] telepon seluler berisi sekitar 150 bagian logam dan non logam[8]. Papan sirkuit cetak telepon seluler mengandung konsentrasi logam berat yang 89relative tinggi [9]

Alasan telepon selular dipilih dalam penelitian ini adalah:

- Orang-orang di semua negara dapat berhubungan dengan produk dengan visibilitas tinggi ini
- Teknologi ini memiliki aplikasi global
- Pemulihan peralatan elektronik dan listrik adalah masalah yang sangat digandrungi pada saat ini.

Komponen- komponen yang terkandung dalam bagian ponsel menurut Nakamura dkk[10] dapat ditunjukkan pada Gambar.1. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa unsur logam yang dikandung oleh sebuah ponsel sangat beragam. Di dalam sebuah komponen yang membentuk ponsel dapat mengandung beragam unsur logam. Keragaman dari unsur-unsur logam inilah yang mendorong melakukan penelitian ini. Dengan keragaman unsur logam yang ada dalam sebuah ponsel diharapkan dapat menghasilkan efek-efek visual tertentu yang dapat menambah keragaman penampilan visual glasir keramik dan lebih luas lagi menambah keragaman penampilan visual produk keramik.



Gambar.1 Kandungan Logam dalam Komponen Telepon Selular

Pewarna Keramik

Warna adalah karakteristik penting pada produk keramik. Warna dapat meningkatkan minat beli konsumen terhadap suatu barang. Hampir setiap produk keramik menggunakan warna termasuk alat makan, ubin, enamel porselen, saniter, dan produk bahan bangunan dari tanah liat.

Menurut Eppler [11].Barang keramik 90ela diwarnai dengan beberapa cara. Cara pertama adalah dengan cara menambahkan ion logam transisi tertentu langsung ke dalam formula glasir keramik. Saat dibakar, logam ini larut dan menjadi bagian dari glasir, dan memberikan warna tertentu. Pewarna yang digunakan berupa oksida logam mentah (mis. Oksida besi, oksida krom). Pewarna adalah zat yang selama pembakaran larut ke dalam glasir dan bodi keramik. Pewarna memberikan warna dengan menyebar elemen transisi dalam fase vitreous. Cara kedua untuk mendapatkan warna dalam keramik adalah penumbuhan pengendapan fase 90elativ glasir sehingga glasir yang tadinya cenderung untuk menjadi glasir bening dapat menjadi glasir yang keruh. Sebagai contoh, oksida tertentu, seperti oksida 90elative90 dan titanium, larut dalam bahan glasir pada suhu tinggi. Ketika suhu berkurang, kelarutan juga berkurang dan terjadi pengendapan oksida tersebut. Oksida ini menjadikan glasir seolah-olah berwarna putih padahal keadaan sebenarnya adalah glasir bening yang mengandung partikel-partikel oksida tersebut. Metode ini digunakan untuk menghasilkan glasir opak/buram, Metode ini juga digunakan untuk pewarna nonoksida, seperti emas, tembaga, dan 90elativ 90elativ-selenium. Cara ketiga untuk mendapatkan warna dalam glasir keramik adalah dengan mendispersikan 90elativ berwarna yang tidak larut

dalam glasir. Kristal ini dikenal dengan istilah pigmen keramik. Pigmen adalah 90elativ berwarna yang tersebar dalam glasir atau bodi keramik, yang dibuat tahan terhadap serangan fisik dan kimiawi dari fase cair glasir selama pembakaran. Metode ini adalah metode yang paling umum digunakan untuk memperkenalkan warna pada lapisan glasir.

Ikm keramik, studio keramik cenderung menggunakan metode pewarnaan glasir metode pertama karena biayanya 90relatif murah, walaupun warna yang dihasilkan tidak mudah dikontrol. Sedangkan 90elative keramik besar lebih banyak menggunakan pigmen pewarna keramik karena karena warna yang dihasilkan 90elative stabil. Pada percobaan ini dicoba untuk menggunakan cara pertama dalam menerapkan warna pada glasir keramik.

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui efek visual terutama efek warna yang dihasilkan oleh bagian limbah ponsel pada glasir keramik. Pengetahuan mengenai pengaruh oksida logam didalam glasir perlu digali. Salah satu informasi tentang hal ini dikemukakan oleh Cooper [12] Cooper merangkum serangkaian percobaannya dalam membuat resep glasir. Ia menjelaskan warna yang dihasilkan di dalam glasir dapat dipengaruhi oleh oksida logam. Ringkasan temuan cooper ini ditampilkan dalam Gambar 2. Dalam table tersebut digambarkan unsur-unsur logam seperti fe, cu, co, dan lain-lain dapat memunculkan warna-warna seperti coklat, hijau, dan biru.

Warna	Nama Unsur								
	Sn	Zr	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti
	Blue White	x							
	Matt-creamy-white								x
	Pale-Honey						x		
	Cream-white		x						
	Yellow								x
	Yellow-ochre						x		
	Olive-brown						x		
	Pink			x		x			
	Pink-mauve				x			x	
	Crimson-red								
	red					x			
	Pale-blue-green						x		
	Opaque-green			x					
	Muted-green-gray						x		
	Green-turquoise					x			
	Strong-green					x			
	Blue-gray								x
	Ice-blue							x	
	Vivid-blue				x				
	Midnight-blue				x				
	Black-red						x		
	Brown-black_red						x		
	Black-Brown						x		

Gambar.2 Gambar Tabel Warna yang dihasilkan oleh oksida logam

EKSPERIMEN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah limbah komponen LCD dan speaker dari ponsel SAMSUNG GT-S5610, sebagai bahan yang akan dijadikan pewarnanya. Glasir dasar frit dengan merek glasir Frit F3. Glasir ini matang pada suhu sekitar 950°C. Barang keramik yang akan diglasir, berupa mangkuk keramik berbahan tanah sukabumi yang dibentuk dengan teknik cor. Mangkok-mangkok ini dibakar pada suhu 850°C. Glasir dilarutkan dengan menggunakan air agar mudah diaplikasikan.

Alat-alat

Alat yang digunakan di dalam percobaan ini diantaranya mesin amplas listrik. Mesin ini digunakan untuk menghaluskan bahan limbah ponsel. Selain mesin amplas digunakan juga mortar porselen untuk mencampurkan antara bahan limbah yang sudah menjadi halus dengan glasir dasar.

Metode

Metode untuk mengetahui efek-efek yang dihasilkan oleh material yang terkandung di dalam

sampah keramik adalah mencampur material sampah elektronik dengan komposisi glasir. Glasir kemudian ini diaplikasikan pada benda coba berupa benda keramik. Secara kualitatif hasil percobaan ini diobservasi. Observasi langsung terhadap objek penelitian dilakukan untuk efek-efek visual yang dihasilkan oleh setiap material sampah yang dicampurkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan ini telah memunculkan beberapa temuan. Material yang terkandung di dalam limbah elektronik ponsel yang kemudian dijadikan campuran di dalam bahan glasir menghasilkan efek visual (warna dan tekstur) yang berbeda-beda setelah di bakar pada suhu 950°C. Dalam setiap temuan, muncul warna dan tekstur yang unik sebagai reaksi yang tidak dapat diprediksi dari warna objek yang diinginkan. Selain itu warna dan tekstur glasir yang muncul menggambarkan limbah mengandung bahan yang beragam, Efek visual dari bahan ini tidak dapat dihasilkan dari pewarna tunggal.

Warna-warna dan tekstur glasir yang dihasilkan dari setiap pencampuran komponen ponsel dengan glasir tersebut menunjukkan adanya kesesuaian fakta dengan teori tentang oksida logam yang dapat memberikan warna tertentu terhadap glasir. Pada percobaan ini komponen ponsel berupa speaker menghasilkan warna olive-brown (coklat minyak zaitun) ketika glasir dibakar. Bila merujuk pada teori tentang logam-logam yang terkandung di dalam komponen ponsel, maka komponen speaker pada ponsel lebih banyak mengandung ferrite atau secara awam komponen ini mengandung logam besi. Glasir dengan campuran glasir dengan speaker ini menghasilkan juga bintang-bintang yang memberikan kedalaman dan tekstur visual. Bintang-bintang ini terjadi karena oksida logam yang dikandung oleh speaker tersebut tidak ikut meleleh selama pembakarannya glasir.

Pada temuan lainnya, bagian ponsel berupa LCD menghasilkan glasir yang lebih bersih dari bercak-bercak hitam. Secara visual teksturnya lebih ringan daripada glasir yang ditambahi dengan speaker ponsel. Hasil temuan dari percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 3. (a). LCD ponsel SAMSUNG GT-S5610 (b). Hasil glasir yang mengandung komponen LCD



(a)



(b)

Gambar 4. (a). Speaker ponsel SAMSUNG GT-S5610 (b). Hasil glasir yang mengandung komponen Speaker

Dari percobaan yang dilakukan ternyata permukaan glasir yang dibakar mengalami retak-retak. Retak-retak ini muncul berupa retakan halus, seukuran rambut sehingga retak ini dikenal dengan retak rambut. Retak-retak yang terjadi juga mempunyai perbedaan walau dengan glasir dasar yang sama. Secara teknis retak rambut pada glasir ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Retak rambut disebabkan oleh ketidakcocokan muai panas antara badan keramik dan glasir. Setelah glasir mengeras (saat tungku mendingin), lapisan glasir menyusut lebih dahulu daripada badan keramik. Retak glasir paling baik dipahami dalam dengan mengamati keterlibatan bahan-bahan komposisi glasirnya. Komposisi glasir dengan retak rambut hampir selalu memiliki tingkat Na_2O yang sangat tinggi, dan mungkin K_2O (secara kolektif disebut sebagai KNaO). Kedua oksida ini memiliki muai panas tertinggi di antara bahan pelebur glasir. Feldspar adalah sumber utama dari Na_2O dan K_2O . Komposisi glasir yang mengandung bahan feldspar yang cukup tinggi mudah retak. Na_2O juga hadir di dalam glasir frit agar memiliki ekspansi termal yang tinggi. Penambahan Feldspar yang mengandung Na_2O ini dimaksudkan untuk mengencerkan glasirnya. Glasir yang encer dibuat untuk mencegah cacat glasir "blistering". Blistering istilah cacat glasir yang mengandung

gelembung-gelembung udara kecil yang kemudian pecah dipermukaan. Keadaan ini menetap sampai glasir menjadi dingin. Glasir frit adalah komposisi glasir mentah yang dimatangkan sampai suhu leburnya, kemudian didinginkan dengan cepat hingga membeku untuk kemudian dihaluskan lagi. Glasir frit mempunyai kecenderungan untuk mengalami retak rambut.

Temuan retak rambut di permukaan glasir ini berbeda untuk setiap bahan limbah ponsel yang dicampurkan. Glasir dengan campuran bagian LCD mempunyai retakan-retakan yang lebih kecil dan halus dibandingkan dengan glasir yang mengandung speaker. Secara visual retakan glasir dengan campuran komponen LCD di dalamnya lebih natural daripada retakan yang terjadi pada glasir yang dicampur dengan komponen speaker yang lebih mengesankan retakan sebagai cacat glasir.

Retakan yang halus dicurigai sebagai akibat dari komponen LCD yang banyak mengandung silica. Sehingga dengan menabahkan LCD tersebut menambah jumlah silica yang terkandung di dalam glasir.

SIMPULAN

Keragaman bahan-bahan pembentuk telepon selular dapat menghasilkan kekayaan efek visual dari sebuah glasir keramik. Setiap komponen memberikan efek yang berbeda terhadap glasir. Efek visual ini berupa warna dan tekstur permukaan. Kekayaan efek visual ini dapat dijadikan sebagai sumber inspirasi dalam membuat sebuah karya keramik. Pada masa-masa sekarang didalam ruang lingkup kerajinan (seperti kerajinan tekstil, kayu, bambu, dll), sedang menggandrungi penggunaan material kerajinan yang bersifat alami. Keberadaan jumlah sampah elektronik yang berlebih pada saat ini sebagai akibat dari produksi massal dan konsumsi barang, memunculkan perspektif baru dalam lingkup kerajinan yang tidak hanya memanfaatkan bahan baku alami tetapi juga benda buatan manusia yang telah menjadi sampah.

Tantangan dari percobaan ini adalah memunculkan kemungkinan baru penggunaan material yang ramah lingkungan dalam struktur sosial saat ini (prilaku social yang konsumtif). Limbah ponsel dengan perspektif teknologi, memiliki nilai kecil karena biaya daur ulang dalam pembongkaranntya relative tinggi, namun bila

dilihat dengan perspektif kerajinan akan muncul nilai potensial baru dari limbah yaitu untuk estetika dan budaya.

Melalui proses pencampuran dan pembakaran dengan glasir, menjadikan limbah yang tadinya tidak berharga menjadi material yang berharga. Material sampah ini membawa nilai-nilai estetika baru.

REFERENSI

- [1] Tanskanen, Pia Electronics Waste: Recycling of Mobile Phones, Post-Consumer Waste Recycling and Optimal Production, Prof. Enri Damanhuri (Ed.), ISBN: 978-953-51-0632-6., 2012.
- [2] Andarani, Pertiwi, & Goto, Naohiro. Preliminary Assessment of Economic Feasibility for Establishing a Households' E-Waste Treating Facility in Serang, Indonesia. *International Journal of Environmental Science and Development*. 562-568. 10.7763/IJESD.2012.V3.286, 2012
- [3] Nimkulrat, N. Material inspiration: From practice-led research to craft art education. *Craft Research*, 1(1), 63–84. doi:10.1386/crre.1.63_1. 2010
- [4] Sadah, Khozinatus & Fuada, Syifaul & Hidayati, Nurul. Model Baru dalam Penanganan Limbah Elektronik di Indonesia Berbasis Integrasi Seni. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasinya (SENTIA)*, Politeknik Negeri Malang (POLINEMA), Volume: 7 Volume 7 – ISSN: 2085-2347. 2015
- [5] Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J., The global e-waste monitor – 2014, *United Nations University, IAS – SCYCLE*, Bonn, Germany. 2015
- [6] UNEP. Basel Convention Mobile Phone Partnership Initiative - Guidance Document on Environmentally Sound Management of Used and End of Life Mobile Phones. 2012
- [7] Tan, Q., Dong, Q., Liu, L., Song, Q., Liang, Y., & Li, J. (2017). Potential recycling availability and capacity assessment on typical metals in waste mobile phones: A current research study in China. *Journal of Cleaner Production*, 148, 509–517.. 2017
- [8] Singh, Narendra & Duan, Huabo & Yin, Fengfu & Song, Qingbin & Li, Jinhui. Characterizing the Materials Composition and Recovery Potential from Waste Mobile Phones: A Comparative Evaluation of Cellular and Smart Phones. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2018
- [9] Hahladakis, J. Maragkos. K, Heavy Metals in Parts of Waste Cellular Phones. Are The RoHS Directive Compliance Regulations Met? *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology Athens, Greece, 5-7 September 2013* . 2013
- [10] Nakamura, Takashi. Halada, Kohmei. Urban Mining Systems. *Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*. Springer Japan. 2015
- [11] Eppler, Richards A., Eppler, Douglas R., *Glazes and Glass Coating*. The American Society , 2000
- [12] Emmanuel Cooper. *The Potter's Book of Glaze Recipes*. BT Batsford Limited, London 1980

Aktivitas Siswa pada Pembuatan Sabun Cair dari Minyak Nabati Berbasis Proyek

SARI,^{1*} JUMIATI,² DAN NENENG WINDAYANI³

^{1,2,3} Pendidikan Kimia Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Jl. AH Nasution No 105A Kota Bandung 40614 Indonesia

* alamat email korespondensi: sari@uinsgd.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: sabun cair; minyak nabati; Berbasis Proyek</p> <p>Keywords: liquid soap; vegetable oil; Project Based</p>	<p>Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan aktivitas siswa pada pembuatan sabun cair dari minyak nabati berbasis proyek. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif terhadap kelas XI Kimia Industri 3 SMKN 7 Bandung yang berjumlah 32 orang. Instrumen yang digunakan berupa lembar observasi aktivitas siswa. Hasil penelitian menunjukkan aktivitas siswa dalam setiap tahanan proyek sebagai berikut tahap Mengidentifikasi Masalah Siswa diinstruksikan untuk membaca wacana pada lembar kerja yang telah dibagikan. Kemudian menentukan ide pokok dari masing-masing paragraf, membuat satu rumusan masalah dalam bentuk pertanyaan dan membuat alternatif jawaban berupa hipotesis. Tahap melaksanakan penelitian, peneliti menginstruksikan siswa untuk melakukan percobaan pembuatan sabun cair dari minyak nabati sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Tahap Membuat <i>Draft/prototype</i> produk, pada tahap ini siswa diminta untuk membuat <i>draft/prototype</i> produk dalam bentuk laporan tertulis. Setelah selesai melakukan percobaan, selanjutnya dilakukan penilaian produk antar kelompok dengan kriteria yang sudah ditentukan. Tahap terakhir adalah publikasi produk. Pada tahap ini siswa mempresentasikan produk dan laporan yang telah dibuat. Pembuatan sabun dari minyak nabati ini cocok diterapkan dalam pembelajaran berbasis proyek karena dapat meningkatkan aktivitas siswa dalam mengikuti pembelajaran.</p> <p><i>This study aims to describe the activities of students in making liquid soap from vegetable oil project-based. The method used in this study is a qualitative descriptive of XI Industrial Chemistry class XI 7 Bandung totaling 32 people. The instrument used was in the form of student activity observation sheets. The results showed the activities of students in each project hold as follows the stages of Identifying problems Students were instructed to read the discourse on the worksheets that had been distributed. Then determine the main idea of each paragraph, make a statement of the problem in the form of questions and make alternative answers in the form of hypotheses. In conducting the research, the researcher instructs the students to make an experiment in making liquid soap from vegetable oil in accordance with the design that has been made. Stage Making product draft / prototype, at this stage students are asked to make a draft / prototype of the product in the form of a written report. After completing the experiment, the next product evaluation is done between groups with predetermined criteria. The last stage is product publication. At this stage students present products and reports that have been made. Making soap from vegetable oil is suitable to be applied in project-based learning because it can increase student activity in participating in learning.</i></p>

PENDAHULUAN

Abad 21 merupakan era digital [1]. Pada abad ini, perkembangan teknologi dan informasi terjadi dengan cepat [2]. Hal ini mempengaruhi berbagai aspek kehidupan, salah satunya pendidikan [3]. Perubahan yang terlihat nyata terdapat pada proses pembelajaran. Pembelajaran saat ini tidak lagi berpusat pada guru melainkan pada siswa, interaktif, berfokus pada keterampilan bukan pada pengetahuan, berbasis proyek, dan

kolaboratif [4]. Perubahan ini terjadi karena tuntutan zaman yang semakin kompetitif [5]. Implementasi kurikulum 2013 ditujukan agar siswa memiliki kompetensi utuh yang dikenal dengan kompetensi abad 21 meliputi kemampuan berkomunikasi, kreatif, dan berpikir kritis melalui pendekatan saintifik [6].

Sejumlah peneliti telah mengkaji mengenai penerapan pembelajaran berbasis proyek seperti

penelitian yang dilakukan oleh [7]. yang meneliti pengaruh penggunaan model pembelajaran berbasis proyek terhadap motivasi belajar, kreativitas dan kemampuan berpikir kritis siswa. Peneliti lain [8] menerapkan model pembelajaran berbasis proyek untuk melihat perbedaan pemahaman konsep kimia dan keterampilan berpikir kritis siswa antara kelas yang menggunakan model pembelajaran berbasis proyek dengan kelas konvensional, hasilnya ditemukan bahwa dalam pembelajaran siswa kurang didorong untuk mengembangkan kemampuan berpikir. Pembelajaran yang mengarah pada belajar mandiri agar siswa dapat mengkonstruksi pengetahuannya sendiri masih sangat kurang. Salah satu penyebabnya adalah pemilihan model pembelajaran yang tidak sesuai dengan pendekatan saintifik yang digunakan dalam kurikulum 2013.

Upaya mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan kegiatan pembelajaran yang efektif dalam membentuk siswa agar dapat belajar mandiri tanpa melupakan aspek kognitif, afektif dan psikomotorik, salah satunya adalah dengan menggunakan pembelajaran berbasis proyek. Pembelajaran berbasis proyek merupakan salah satu pembelajaran aktif dengan melibatkan siswa secara mandiri. Melalui pembelajaran yang bersifat otonom, tanggung jawab pada pembelajar dapat lebih baik dan dapat memunculkan ide-ide kreatif dari siswa. Pada penerapan model pembelajaran berbasis proyek ini tentu saja akan ada suatu produk yang dihasilkan, salah satu proyek yang dapat dikerjakan untuk menghasilkan produk adalah pembuatan sabun cair. Sabun merupakan salah satu pengaplikasian sistem koloid [9].

Sabun sudah sejak dahulu dikenal dan digunakan sebagai pembersih [10]. Saat ini sabun sudah mengalami transformasi menjadi produk komersial dengan berbagai variasi bentuk, jenis, maupun bahan yang digunakan [11]. Beberapa produk yang dihasilkan menggunakan zat kimia sintesis yang dalam jangka panjang berdampak buruk pada kesehatan dan lingkungan [12], diantaranya *Butylated hydroxyanisole* (BHA), *butylated hydroxytoluene* (BHT) dan paraben yang dapat menginduksi reaksi alergi pada kulit manusia dan telah diklasifikasikan sebagai karsinogen potensial oleh lembaga internasional untuk penelitian kanker [13]. *Trichlorocarbanilide*, *triclosan* dan *P-Chloro-In-Xylenol* jika digunakan dalam dosis yang tinggi dapat menyebabkan infeksi [14].

Selain itu, *triclosan* juga dapat menyebabkan resistensi terhadap antibiotik, juga dapat

menyebabkan pencemaran lingkungan karena struktur senyawa nya yang sulit diurai oleh alam.

Seiring dengan perkembangan informasi dan teknologi saat ini, produk kosmetik mulai beralih ke produk natural karena adanya *trend back to nature* [15], salah satu nya produk sabun. Sejumlah peneliti membuat sabun dari bahan alam, seperti yang dilakukan oleh (Ayuningtyas, Sudarsono, & Mulyani, 2018) yang membuat formulasi sabun padat dengan menggunakan kombinasi madu dengan teh hijau [16]. Peneliti lain (Budi & Anggun, 2017) membuat sabun padat dengan ekstrak kulit pisang kepok (*Musa normalis* L) sebagai antioksidan [17]. Kebanyakan para peneliti membuat sabun herbal dalam bentuk padat. Ditinjau dari sifat fisik nya, sabun padat memiliki kestabilan yang rendah, apalagi jika terkena air. Sabun padat juga kurang efektif jika digunakan untuk pemakaian bersama, juga kurang praktis untuk dibawa kemanapun [18], dan kurang higienis dalam penyimpanannya [19].

Beranjak dari pemikiran di atas maka akan dibuat suatu formulasi sabun cair dari minyak biji kelor, *Virgin Coconut Oil* (VCO), dan minyak esensial jeruk. Pemilihan bahan tersebut didasarkan pada bioaktivitas yang dimiliki. Minyak biji kelor memiliki sifat antioksidan dan agen antibakteri [20]. Minyak biji kelor mengandung asam oleat dan *Virgin Coconut Oil* (VCO) mengandung asam laurat, penggabungan kedua minyak tersebut dapat menghasilkan sabun yang memberikan efek lembab dan menjaga kulit dari radikal bebas [21].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif. Adapun langkah-langkah penelitiannya terdiri dari tiga tahap yaitu tahap persiapan, pelaksanaan dan penarikan kesimpulan. Instrumen yang digunakan yaitu lembar observasi aktivitas. Penelitian ini dilaksanakan di SMKN 7 Bandung yang beralamat di Jln. Soekarno-Hatta No. 596, dan area kampus UIN 1, 2 Sunan Gunung Djati Bandung yang beralamat di Jln. A.H Nasution dan Jln. Soekarno Hatta. Teknik pengumpulan data menggunakan lembar observasi untuk melihat keterlaksanaan proses pembelajaran proyek. Data diperoleh dari lembar observasi yang berbentuk skala laju. Selanjutnya dihitung persentase dari masing-masing indikator kemudian diinterpretasi secara deskriptif dengan kategori sebagai berikut 86-100 (sangat baik), 76-85 (baik), 60-75 (cukup), 55-59 (kurang), 54 (kurang sekali).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembelajaran terdiri dari tiga tahap kegiatan yaitu pendahuluan, kegiatan inti dan penutup. Pada tahap pendahuluan, peneliti mengkondisikan siswa untuk siap memulai pembelajaran kemudian membuka pembelajaran dengan mengucapkan salam dan menginstruksikan untuk berdoa. Peneliti kemudian melakukan apersepsi yang bertujuan untuk membangkitkan rasa ingin tahu siswa dengan memberikan pertanyaan, "Apakah kalian menggunakan sabun ketika mencuci tangan setelah buang air"?, lalu "kenapa harus menggunakan sabun, sedangkan untuk membersihkan debu cukup dibilas dengan air"?.

Terdapat beberapa siswa yang merespon pertanyaan tersebut dengan memberikan jawaban, "Ya, untuk membersihkan kotoran". Lalu peneliti bertanya kembali "Bagaimana sabun dapat membersihkan kotoran?". Terdapat satu siswa yang memberikan jawaban "Karena mempunyai dua bagian, polar dan non polar", siswa tersebut terlihat ragu dalam memberikan jawaban padahal jawaban yang diberikan sudah benar namun belum lengkap, lalu peneliti membenarkan dan melengkapi jawaban yang diberikan siswa "sabun dapat mengangkat kotoran karena memiliki sifat surfaktan artinya dapat menurunkan tegangan permukaan karena molekul sabun memiliki dua bagian yaitu bagian kepala dan ekor, bagian kepala bersifat liofil atau menyukai cairan (polar) sedangkan bagian ekor bersifat liofob atau tidak menyukai cairan (nonpolar)".

Peneliti menyampaikan motivasi untuk menumbuhkan semangat belajar siswa dengan memberikan pertanyaan yaitu "Kalian tentu mengenal berbagai bentuk sabun tetapi apakah kalian pernah membuat sabun cair?". Kemudian Peneliti menyampaikan tujuan pembelajaran kepada siswa "Hari ini kita akan membuat sabun cair dari minyak biji kelor dan minyak kelapa murni". Terlihat siswa tertarik dengan penggunaan bahan minyak biji kelor karena itu peneliti menjelaskan fungsi penambahan minyak biji kelor "penambahan minyak biji kelor untuk mencegah ketengikan karena sifat antioksidan yang dimilikinya, karena seperti yang kita ketahui bahwa kelapa mudah teroksidasi sehingga menimbulkan bau tengik. Sifat antioksidan yang dimiliki minyak biji kelor dikarenakan kandungan asam oleat yang dimilikinya". Kemudian pada tahap pendahuluan ini, peneliti membagi siswa ke dalam delapan kelompok yang beranggotakan empat orang, dan memberikan lembar kerja

kepada masing-masing kelompok. Aktivitas siswa pada tahap pendahuluan seperti terlihat pada Gambar 1:



Gambar 1 Aktivitas siswa pada tahap pendahuluan

Proses pembelajaran dilanjutkan pada tahap kegiatan inti yang merupakan tahapan model pembelajaran berbasis proyek meliputi mengidentifikasi masalah, membuat desain, melaksanakan penelitian, membuat *draft/prototype* produk, menilai produk, dan publikasi produk.

Berdasarkan hasil observasi pembelajaran, langkah-langkah pembelajaran yang dilakukan sebagai berikut.

Tahap Mengidentifikasi Masalah

Peneliti pada tahap ini mengintruksikan siswa untuk membaca wacana pada lembar kerja yang telah dibagikan. Kemudian menentukan ide pokok dari masing-masing paragraf, membuat satu rumusan masalah dalam bentuk pertanyaan dan membuat alternatif jawaban berupa hipotesis. Terlihat siswa mendengarkan dan memahami intruksi yang diberikan. Setelah paham dengan instruksi yang diberikan, siswa terlihat membaca wacana dan mendiskusikan jawaban dengan seksama, namun pada saat membuat rumusan masalah dan hipotesis, siswa mengalami kesulitan sehingga perlu arahan dan bimbingan dari peneliti. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2:



Gambar 2 Aktivitas siswa pada tahap mengidentifikasi masalah

Persentase keterlaksanaan aktivitas siswa pada tahap ini sebesar 82,50% yang menunjukkan keterlaksanaan baik. Persentase ini merupakan persentase terendah dalam seluruh tahap pembelajaran berbasis proyek. Hal ini terjadi karena keterlaksanaan aktivitas siswa dalam pembelajaran tidak terlepas dari usaha seorang guru / peneliti dalam mengatur setiap kegiatan di kelas. Menurut Usman (1995) suatu kondisi belajar yang optimal dapat tercapai jika guru mampu mengatur siswa dan sarana pembelajaran serta mengendalikannya dalam suasana yang menyenangkan untuk mencapai tujuan pembelajaran. Selain itu hal ini dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan diantaranya; Pertama, pada tahap ini siswa tidak melakukan pengamatan/observasi langsung terhadap suatu objek atau fenomena yang menjadi fokus permasalahan sehingga siswa tidak memperoleh data yang dapat memunculkan suatu pertanyaan yang esensial. Pada tahap identifikasi masalah siswa hanya melakukan pengamatan melalui proses membaca wacana dalam LKS sehingga siswa tidak menemukan masalah riil yang terjadi. Padahal seharusnya pada tahap identifikasi masalah siswa mengamati langsung suatu fenomena sehingga dapat menemukan permasalahan yang terjadi dan pada akhirnya memunculkan pertanyaan yang mendorong siswa mengerjakan sebuah proyek untuk mengatasi permasalahan tersebut [22,23]. Pada tahap ini peneliti sebaiknya mengarahkan dan membimbing siswa untuk menemukan dan memahami permasalahan yang akan dibahas dengan memberikan petunjuk-petunjuk atau pertanyaan-pertanyaan yang menghubungkan antara data yang ada dengan hal yang akan dicari yang mampu mengarahkan siswa untuk dapat memahami masalah [22].

Kedua, dikarenakan siswa belum terbiasa membuat rumusan masalah dan hipotesis karena

pada saat peneliti mengintruksikan untuk membuat rumusan masalah dan hipotesis mereka belum mengerti apa yang dimaksud dengan rumusan masalah dan hipotesis. Tahap Membuat Desain Proyek.

Pada tahap ini siswa bersama-sama dengan peneliti secara kolaboratif merencanakan sebuah proyek untuk menyelesaikan pertanyaan yang telah dirumuskan pada tahap kesatu. Pada tahap ini siswa membuat rancangan proyek pembuatan sabun cair dari minyak nabati dimulai dari judul percobaan sampai prosedur percobaan. Aktivitas perencanaan proyek dapat dilihat pada gambar 3:



Gambar 3 Aktivitas siswa pada tahap membuat desain proyek

Persentase keterlaksanaan aktivitas siswa sebesar 84,37% yang menunjukkan keterlaksanaan baik.

Tahap Melaksanakan Penelitian

Tahap ketiga yaitu melaksanakan penelitian. Pada tahap ini, peneliti mengintruksikan siswa untuk melakukan percobaan pembuatan sabun cair dari minyak nabati sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Namun sebelum praktikum dimulai, peneliti mengintruksikan beberapa hal diantaranya; siswa ditugaskan untuk melakukan pengujian terhadap kualitas sabun yang telah dibuat meliputi warna, aroma, bentuk/ tekstur serta pH; siswa ditugaskan untuk mengemas sabun yang telah dibuat dengan memperhatikan aspek daya tarik sesuai dengan kreativitas masing-masing kelompok. Pengerjaan proyek pembuatan sabun cair dari minyak nabati ini dilakukan selama dua hari. Pada hari pertama siswa membuat adonan sabun lalu mendilusi (mencairkan) adonan sabun pada hari kedua. Berdasarkan observasi selama pengerjaan proyek, semua kelompok melakukan kinerjanya dengan baik. Siswa secara kolaboratif membuat proyek dengan tertib dan bekerjasama dengan kelompoknya masing-masing. Aktivitas ini dapat dilihat pada Gambar 4:



Gambar 4 Aktivitas siswa pada tahap melaksanakan penelitian

Persentase keterlaksanaan aktivitas peneliti pada tahap ini sebesar 95,31% dan aktivitas siswa sebesar 89,06% yang menunjukkan keterlaksanaan baik sekali.

Tahap Membuat Draft/prototype Produk

Setelah selesai melakukan percobaan pembuatan sabun cair, siswa diminta untuk membuat *draft/prototype* produk dalam bentuk laporan tertulis yang terdiri dari judul percobaan, tujuan percobaan, prinsip percobaan, alat dan bahan yang digunakan, prosedur percobaan, data pengamatan dengan disertai dokumentasi, serta kesimpulan. Aktivitas ini dapat dilihat pada gambar 5 berikut:



Gambar 5 Aktivitas siswa pada tahap membuat *draft/prototype* produk

Persentase keterlaksanaan aktivitas siswa sebesar 93,75% dan dinyatakan baik sekali. Pembelajaran berbasis proyek memiliki tahapan yang sesuai dengan pendekatan yang berpusat pada siswa (Utami, 2013: 71), sehingga hal tersebut dapat menuntut siswa untuk mengatur proses pembelajarannya sendiri dan menemukan pengetahuannya.

Tahap Menilai Produk



Gambar 6 Produk sabun yang dihasilkan

Setelah selesai melakukan percobaan dan memperoleh hasilnya yaitu sabun cair dari minyak nabati, selanjutnya dilakukan penilaian produk. Penilaian dilakukan antar kelompok dengan kriteria yang sudah ditentukan. Satu kelompok akan menilai produk kelompok lain dengan memberikan skor satu sampai tiga dengan ketentuan skor satu artinya kurang baik, skor dua artinya cukup baik dan skor tiga artinya baik. Indikator penilaian meliputi bentuk, aroma, warna, dan desain tampilan. Kemudian masing-masing kelompok memberikan komentar terhadap skor yang diberikan.

Tujuan dari tahap ini adalah melatih siswa untuk memberikan penilaian kepada kelompok lain sesuai dengan produk yang telah dibuat. Penilaian tersebut dilihat dari desain produk, bahan yang digunakan dan kesesuaian produk dengan sifat koloid yang dimaksud. Setiap kelompok menilai kelompok lainnya dengan cara berkeliling [1]. Pada tahap ini dilakukan penilaian produk yang dihasilkan seperti pada penelitian (Saefudin, 2014: 43) bahwa pembelajaran berbasis proyek memberikan kesempatan pada pebelajar untuk melakukan refleksi terhadap pembuatan proyek. Aktivitas ini dapat dilihat pada Gambar 7:



Gambar 7 Aktivitas pada tahap menilai produk

Berdasarkan observasi yang dilakukan keterlaksanaan aktivitas siswa sebesar 96,87% yang menandakan bahwa keterlaksanaan baik sekali.

Tahap Publikasi Produk

Tahap terakhir dari pembelajaran berbasis proyek adalah publikasi produk. Pada tahap ini siswa mempresentasikan produk dan laporan yang telah dibuat. Pada tahap ini setiap kelompok menjelaskan hasil percobaan dengan prosedur yang sama namun dengan penggunaan bahan dilusi yang berbeda dan kelompok lain yang mendengarkan bisa mencatat hasil penemuan kelompok yang mempresentasikan sehingga melalui presentasi produk ini siswa dapat saling berbagi informasi tentang hasil percobaan yang dilakukan. Penilaian presentasi untuk masing-masing kelompok dilakukan oleh empat observer menggunakan lembar penilaian presentasi yang berisi kriteria penilaian yang telah ditentukan. Siswa dituntut untuk lebih komunikatif dalam mempresentasikan produk yang telah dibuat. Presentasi ini bertujuan untuk membuat siswa menjadi lebih aktif dalam proses pembelajaran sesuai dengan karakteristik pembelajaran berbasis proyek [24]. Berikut aktivitas siswa pada tahap mempresentasikan produk dapat dilihat pada Gambar 8:



Gambar 8 Aktivitas presentasi kelompok

Penilaian presentasi dilakukan oleh empat orang observer dengan nilai keterlaksanaan aktivitas siswa pada tahap ini sebesar 93,75% dan dapat dinyatakan baik sekali.

Secara keseluruhan persentase aktivitas siswa dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Persentase keterlaksanaan aktivitas siswa

No	Tahapan Kegiatan	% Aktivitas	Interpretasi
1.	Mengidentifikasi Masalah	82,50	Baik
2.	Membuat Desain Proyek	84,37	Baik
3.	Melaksanakan Penelitian	89,06	Baik Sekali
4.	Menyusun Draft/Prototype Produk	93,75	Baik Sekali
5.	Menilai Produk	96,87	Baik Sekali
6.	Publikasi Produk	93,75	Baik Sekali
Rata-rata		90,05	Baik Sekali

Tahap terakhir pada proses pembelajaran adalah penutup. Sebelum pembelajaran ditutup, peneliti dan siswa bersama-sama menyimpulkan pembelajaran yang telah dilakukan. Setelah itu, peneliti mengucapkan salam penutup dengan jelas dan seluruh siswa menjawab salam. Berdasarkan analisis setiap tahapan model pembelajaran berbasis proyek pada pembuatan sabun cair dari minyak nabati, secara keseluruhan aktivitas siswa

terlaksana dengan baik sekali dengan persentase rata-rata 90,05%.

KESIMPULAN

Aktivitas siswa dalam pembelajaran berbasis proyek pada pembuatan sabun cair dari minyak nabati adalah 90,05%. Aktivitas siswa termasuk pada kategori sangat baik dan sesuai dengan tahapan pembelajaran berbasis proyek.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan yaitu: Bagi guru, pada tahap mengidentifikasi masalah peneliti hendaknya membimbing mengarahkan siswa untuk menemukan dan memahami permasalahan yang akan dibahas dengan memberikan petunjuk atau pertanyaan - pertanyaan yang menghubungkan antara data yang ada dengan hal yang akan dicari yang mampu mengarahkan siswa untuk dapat memahami masalah dan sebaiknya siswa tidak hanya mengamati dari wacana yang diberikan tapi mengamati fenomena atau objek secara langsung yang menjadi fokus permasalahan sehingga siswa dapat memahami masalah yang akan dibahas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. & D. R. Atep, "Literasi digital abad 21 bagi mahasiswa PGSD: apa, mengapa, dan bagaimana, Current Research in Education," *Conference Series Journal*, pp. 1(1), 1-7, 2019.
- [2] J. T. & A. R. Afandi, "Implementasi Digital-Age Literacy dalam Pendidikan Abad 21 di Indonesia," *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains*, pp. 113-120, 2016.
- [3] Y. M. Jamun, "Dampak Teknologi Terhadap Pendidikan," *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan Missio*, pp. 1-136, 2018.
- [4] T. & Fadel, 2009.
- [5] 2. 1. (Afandi et al. dan S. & N. Wijaya, p. 263, 2016.
- [6] D. A. A. & K. K. Nodyanto, "Pemahaman Guru Mengenai Implementasi Pendekatan Saintifik Dalam Mata Pelajaran PPKn," *Jurnal Bhinneka Tunggal Ika*, pp. 14-31, 2017.
- [7] D. Z. S. & H. S. Insyasiska, "Pengaruh Project Based Learning Terhadap Motivasi Belajar, Kreativitas, dan Kemampuan Berpikir Kritis," *Jurnal Pendidikan Biologi*, pp. 9-22, 2015.
- [8] I. K. S. W. I. S. & W. I. Ayu, "Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Proyek terhadap Pemahaman Konsep Kimia dan Keterampilan Berpikir Kritis," *E-Jurnal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha*, pp. 194-204, 2013.
- [9] L. S. k. m. & N. a. C. S. Fajri, "Upaya Peningkatan Proses dan Hasil Belajar Kimia Materi Koloid Melalui Pembelajaran Kooperatif Tipe TGT (Teams Games Tournament) Dilengkapi Dengan Teka-Teki Silang Bagi Siswa Kelas XI IPA 4 S," *Jurnal Pendidikan Kimia*, pp. 89-96, 2012.
- [10] M. & E. T. Zulkifli, "Sabun dari Dstilat Asam Lemak Minyak Sawit," *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, pp. 170-177, 2014.
- [11] D. S. L. & A. R. Silsia, "Pengaruh Konsentrasi KOH Terhadap Karakteristik Sabun Cair Beraroma Jeruk Kalamansi dari Minyak Goreng Bekas," *Jurnal Agro Industr*, pp. 11-19, 2017.
- [12] S. B. & H. Ariyani, "Penambahan Gel Lidah Buaya Sebagai Antibakteri pada Sabun Mandi Cair Berbahan Dasar Minyak Kelapa," *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, pp. 11-18, 2018.
- [13] L. S. & P. H. A. Joshi, "Natural Products Chemistry & Research Herbal Cosmetics and Cosmeceuticals: An Overview," *Natural Product Chemistry and Research*, pp. 1-8, 2015.
- [14] K. Poole, "Mechanisms of bacterial biocide and antibiotic resistance," *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement*, p. 555-564, 2002.
- [15] A. K. V. & B. K. P. Duraisamy, "Bioprospecting and new cosmetic product development : A brief review on the current status.," *International Journal of Natural Product Research*, pp. 26-37, 2011.
- [16] Ayuningtyas, N. D., Sudarsono, agustina, A. P., Pitarisa, & Mulyani, T. (2018). Formulasi Sabun Transparan Menggunakan Kombinasi Madu dan Daun Teh Hijau (*Camelia sinensis* L.). *Jurnal Farmasi Dan Sains Indonesia*, 1(1), 28-34.
- [17] Budi, A., & Anggun, R. (2017). Formulasi dan Evaluasi Sabun Padat Antioksidan

- Ekstrak Maserasi Kulit Buah Pisang Kepok (*Musa normalis* L). *Jurnal Para Pemikir*, 6(2), 151–155
- [18] Ambarwati, N. F., & sitompul, E. (2014). Pembuatan Sabun Madu dan Uji Aktivitas Terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Farmanesia*, 1(1). 1-10
- [19] Wijayanti, K., Agusta, H. F., Setyowati, H., & Rahayu, E.(2018). Formulasi Sabun Cair Binahong (*Anredera Cordifolia*) Sebagai Sabun Antiseptik. *Jurnal Farmasi Sains Dan Praktis*, 4(2), 3.
- [20] Sudaryanto, Z., Herwanto, T., & Putri, S. H. (2016). Aktivitas Antioksidan pada Minyak Biji Kelor (*Moringa Oleifera* L.) dengan Metode Sokletasi Menggunakan Pelarut N-Heksana, Metanol dan Etanol. *Jurnal Teknotan*, 10(2), 16-21
- [21] Widyasanti, A., Qurratu'ain, Y., & Nurjanah, S. (2017). *Chimica et Natura Acta. Chimica et Natura Acta*, 5(2), 77–84.
- [22] Aliyah, H. (2017). Pengembangan Model Pembelajaran Tematik Berbasis Proyek untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kreatif Siswa. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 8(2), 36–50.
- [23] Widowati, Sawitri, S., Krisnawati, M. (2015). Efektivitas Model Pembelajaran Berbasis Proyek Pada Mata Kuliah Pengembangan Desain. *Teknobuga*, 2(2), 45–60.
- [24] Assalma, N. E., Rahayu, E. S., & Iswari, R. S. (2013). Pengembangan lembar kerja siswa dengan pendekatan pembelajaran berbasis proyek (PBP) dan berwawasan Salingtemas. *Journal of Biology Education*, 2(1), 41–49.

Pembuatan Mol (Mikroorganisme Lokal) dari Limbah Buah-Buahan sebagai Pupuk Cair Organik

YULIA SUKMAWARDANI*, DELVY HASNA FAUZIAH, DESI DWI ASTUTI, CUCU ZENAB SUBARKAH
Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, Jl. A.H.
Nasution No. 105, Kota Bandung, 40614, Indonesia

* alamat email korespondensi: yulia.sukmawardani@uinsgd.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: Mikroorganisme lokal, limbah buah-buahan, pupuk cair organik</p>	<p>Pembuatan mikroorganisme lokal (MOL) dari limbah buah-buahan sebagai pupuk cair organik bertujuan untuk mengetahui karakteristik pembuatan MOL sebagai pupuk cair organik, dan menentukan kelayakan pupuk cair organik pada tanaman <i>ipomoea reptana poir</i>. Pembuatan MOL ini berbahan dasar limbah buah-buahan seperti sisa daging buah dan kulit buah. Limbah buah-buahan ini bermanfaat sebagai media hidup dan perkembangan mikroorganisme yang dicampur dengan air kelapa sebagai sumber mineral, air cucian beras sebagai sumber karbohidrat dan gula merah sebagai sumber glukosa. Limbah yang sudah dicampur dengan bahan-bahan tersebut kemudian difermentasi selama 14 hari dengan mengidentifikasi adanya bau seperti bau selotip dan bau asam. Selanjutnya, pupuk diencerkan dan dapat disiram di tanah tempat tanaman <i>ipomoea reptana poir</i> tumbuh. Dari hasil penelitian didapat bahwa pupuk cair murni mempunyai pH 4 (murni) dan setelah diencerkan pH nya naik ,menjadi 5, tanda bahwa MOL sudah terbentuk juga dapat diidentifikasi dari baunya, yaitu seperti bau selotip dan bau asam. MOL yang telah disintesis terbukti dapat dapat mempercepat pertumbuhan daun pada tanaman <i>ipomoea reptana poir</i>.</p>
<p>Keywords: <i>local microorganism, fruit wastes, liquid fertilizer</i></p>	<p><i>The making of local microorganisms (MOL) from fruit wastes as organic liquid fertilizer aims to determine the characteristics of making MOL as organic liquid fertilizer, and determine the feasibility of organic liquid fertilizer on the plant ipomoea reptane poir. The making of MOL is based on fruit waste such as fruit flesh and fruit skin. This fruit waste is useful as a living medium and the development of microorganisms mixed with coconut water as a source of minerals, rice washing water as a source of carbohydrates and brown sugar as a source of glucose. Waste that has been mixed with these materials is then fermented for 14 days by identifying odors such as masking odors and sour odors. Furthermore, the fertilizer is diluted and can be watered in the soil where the plant ipomoea reptane poir grows. From the results of the study it was found that pure liquid fertilizer has a pH of 4 (pure) and after diluted the pH rises to 5, a sign that MOL is formed can also be identified from its smell, such as masking odors and sour odors. MOL that has been synthesized has been proven to be able to accelerate leaf growth in the plant ipomoea reptane poir.</i></p>

PENDAHULUAN

Green chemistry merupakan pendekatan untuk mengatasi masalah lingkungan baik itu dari segi bahan kimia reaksi yang digunakan [1]. Konsep ini menegaskan tentang suatu metode yang didasarkan pada pengurangan penggunaan dan pembuatan bahan kimia berbahaya baik itu dari sisi perancangan maupun proses yang disebut limbah [2]. Bahaya bahan kimia yang dimaksudkan dalam konsep *green chemistry* ini meliputi berbagai ancaman terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, termasuk toksisitas,

bahaya fisik, perubahan iklim global, dan penipisan sumber daya alam[3].

Limbah merupakan material sisa yang sudah tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang harus dibuang,yang tidak memiliki nilai ekonomi dan yang umumnya berasal dari kegiatan manusia [1] sehingga masih menjadi permasalahan serius yang belum bisa ditangani secara tuntas [4] karena dapat mengakibatkan pencemaran, baik polusi udara, polusi air maupun tanah[5]. Untuk mengurangi keberadaannya, dapat dilakukan pemilahan sampah dan penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) atau

pengurangan, penggunaan kembali dan mendaur ulang sampah [6].

Limbah berdasarkan jenisnya terbagi menjadi 2 yaitu limbah organik dan limbah anorganik. Limbah organik dapat dihasilkan dari bahan-bahan hayati yang dapat didegradasi oleh mikroba. Limbah organik terdiri dari limbah basah [2] yang mana istilah limbah organik basah itu mempunyai kandungan air yang cukup tinggi contohnya limbah buah-buahan dan sisa sayuran [6] yang merupakan kebutuhan sehari-hari bagi manusia. [7] sehingga limbah rumah tangga tersebut tidak dapat dihindari [8]

Dilakukan pengolahan limbah tersebut menjadi Pupuk yang merupakan nutrisi atau unsur hara yang ditambahkan kepada tanaman yang kekurangan akan unsur hara. Pupuk dapat berupa pupuk organik dan pupuk kimia [9] yang mana pupuk organik merupakan pupuk yang berasal dari sisa-sisa pembusukan atau pengomposan, dan biasanya berupa zat padat. Akan tetapi, pupuk organik juga dapat berupa pupuk cair [10]. Yang merupakan merupakan larutan dari pembusukan bahan-bahan organik yang berasal dari sisa buah-buahan dan lain-lain [11]. Salah satu contoh pupuk cair organik adalah MOL (Mikroorganisme Lokal).

Mikroorganisme merupakan makhluk hidup yang sangat kecil dengan kemampuan sangat penting dalam kelangsungan daur hidup biota di dalam biosfer [12] Biasanya mikroorganisme ini berupa Mikroorganisme Lokal (MOL) yang biasa disebut bioaktivator [13] karena dapat dimanfaatkan sebagai starter dalam pembuatan pupuk organik padat maupun pupuk cair [14] karena MOL ini berperan sebagai media hidup untuk mempercepat penghancuran bahan organik [15] dan komponennya terdiri dari karbohidrat, glukosa, dan sumber mikroorganisme. [16].

Menurut (Sopandi, 2014) semua mikroorganisme yang tumbuh pada bahan-bahan tertentu membutuhkan bahan organik untuk pertumbuhan dan proses metabolisme sehingga adanya pemanfaatan limbah buah-buahan tersebut [[14]17]. Mikroorganisme yang tumbuh dan berkembang pada suatu bahan dapat menyebabkan berbagai perubahan pada fisik maupun komposisi kimia, berupa adanya perubahan warna, pembentukan endapan, kekeruhan, pembentukan gas, dan bau asam [18]

Berdasarkan pemaparan diatas maka akan dibahas mengenai karakteristik MOL dari limbah

buah-buahan sebagai pupuk cair organik dan kelayakan MOL dari limbah buah-buahan sebagai pupuk cair organik.

EKSPERIMEN

Penelitian ini dilakukan selama 4 minggu , yang terbagi menjadi 2 minggu untuk pembuatan pupuk cair organik dan 2 minggu untuk uji kelayakan pupuk cair organik.

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya jerigen 2L, selang plastik 50 cm, pisau, botol bekas 600mL, botol bekas 1,5L, kain 30x30 cm, timbangan, pengaduk, lakban, wadah ukuran sedang, sarung tangan plastik, dan botol reagen.

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya limbah buah-buahan, air kelapa, air cucian beras, gula merah yang dilarutkan dalam air, dan indikator universal.

Percobaan ini memanfaatkan limbah buah-buahan dari hasil pembuatan jus yang didapatkan disekitaran desa Cipadung. Limbah buah-buahan tersebut dipotong kecil-kecil dan dimasukkan ke dalam jerigen 2L, tambahkan air kelapa, air cucian beras dan gula merah yang sudah dilarutkan dalam air. Adapun perbandingan bahan yang digunakan yaitu (1:1:1/2:1/2). Lalu, jerigen ditutup oleh tutup yang sudah dipasangkan selang yang dihubungkan ke dalam wadah berisi air (untuk menghindari jerigen meledak karena adanya gas pada jerigen). Fermentasi ini dilakukan secara anaerob. Pupuk cair organik yang terbentuk dapat diidentifikasi dari adanya bau yaitu bau masam dan bau seperti tape.

Pembuatan MOL (Mikroorganisme Lokal) dari limbah buah-buahan sebagai pupuk cair organik ini dilakukan pengujian pH menggunakan indikator universal. Pengujian pupuk cair organik ini dilakukan pada pupuk cair organik dalam keadaan murni hasil penyaringan antara filtrat dan residu. Serta, pupuk cair organik yang sudah diencerkan. Pupuk cair organik sebanyak 250 mL diencerkan pada 6,5L air. Dan berdasarkan SNI pupuk cair organik yang baik memiliki pH diantara 4-8.

Pengujian pada media tanam dilakukan pada tanaman *dieffenbachia*. Pengujian ini dilakukan dengan pemberian pupuk cair organik yang sudah di encerkan, dan disiram pada bagian tanahnya saja selama 4 hari sehari. Pada pertumbuhan tanaman *dieffenbachia* yang baik ditandai dengan adanya bakal calon daun muda dalam keadaan menggulung dan warna daun lebih cerah. Pengujian ini dilakukan selama 2 minggu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah buah-buahan yang ada di sekitaran desa Cipadung menjadi sesuatu hal yang bermanfaat. Sehingga di buatlah MOL (Mikroorganisme Lokal) dari limbah buah-buahan sebagai pupuk cair organik. Perlu diketahui MOL (Mikroorganisme lokal) ini sendiri berasal dari bahan yang alami yaitu limbah buah-buahan [15].

Adapun pupuk cair organik yang di hasilkan perlu di ketahuinya karakteristik pupuk cair organik yang baik dan uji kelayakan pupuk cair organik pada tanaman *dieffenbachia*.

Adapun hasil penelitian karakteristik pupuk cair organik ini di lakukan pada uji bau sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Identifikasi Bau Pada Pupuk Cair Organik.

No	Hari ke-	Bau pupuk cair organik	Keterangan
1	4	Bau masam	(+)
2	8	Bau masam	(+)
3	12	Bau masam dan tercium bau tape	(++)
4	14	Bau masam dan tercium bau tape	(+++)

Pada tabel 1 di dapatkan hasil fermentasi pupuk cair organik yang dilakukan selama 14 hari. Pada waktu 14 hari ini merupakan waktu optimum untuk membentuk pupuk cair organik karena tercium menyengat bau masam dan bau tape yang mengindikasikan pupuk cair organik terbentuk dari hasil fermentasi. Fermentasi yang dilakukan secara anaerob, yang bertujuan mikroorganisme dapat berkembang biak lebih cepat. Fermentasi ini dapat menguraikan unsur kompleks karbohidrat menjadi energi dan dilakukan oleh mikroorganisme, diiringin dengan [pembebasan gas [19].

Pada pupuk cair organik yang dibuat masih terdapat limbah buah-buahan yang tersisa atau tidak terurai seluruhnya. Hal ini dikarenakan gula merah atau sumber glukosa sebagai sumber makanan mikroorganisme kurang mencukupi, sehingga limbah buah-buahan tidak terurai seluruhnya. Sehingga pupuk cair yang didapatkan disaring untuk memisahkan filtrat dan residunya.

Pembuatan pupuk cair organik dapat dilakukan dengan cara lain agar limbah buah-

buahan terurai seluruhnya yaitu dengan cara di blender. Sehingga mikroorganisme yang menguraikan ada akan lebih mudah menguraikan dalam bentuk yang lebih kecil

Tabel 2. Tabel Pengujian pH dengan Warna Pupuk Cair Organik.

No	Keadaan pupuk cair	pH	Warna pupuk cair
1	Murni	4	Kuning kecoklatan (sedikit kental)
2	Setelah pengenceran	5	Seperti air keruh kekuningan

Pada tabel 2 di dapatkan hasil pengujian pH dan warna pupuk cair organik yang didapatkan. Pupuk cair organik berdasarkan SNI yaitu pada pH 4-8 dan pada hasil percobaan menggunakan indikator universal didapatkan pupuk cair organik dalam keadaan murni pH 4 dan setelah pengenceran pH 5. Sehingga pupuk cair organik ini sesuai dengan SNI dan aman untuk digunakan.

Pada pupuk cair organik dalam keadaan murni memiliki warna kuning kecoklatan. Adanya warna kecoklatan karena adanya penambahan gula merah yang memiliki warna kecoklatan. Sedangkan pada pupuk cair setelah pengenceran berwarna seperti air keruh kekuningan. Pengenceran dapat dilakukan pada pupuk cair organik sebanyak 125mL di encerkan pada 6,5L air.

Pada Tabel 3 dilakukan pengujian kelayakan pupuk cair organik pada pertumbuhan tanaman. Tanaman yang digunakan yaitu tanaman hias *dieffenbachia*. Pada pengujian tanaman ini dilakukan selama 4 hari sekali, dengan pengenceran pupuk cair organik terlebih dahulu. Fungsi pengenceran ini untuk mengurangi kepekatan asam dari pupuk cair itu sendiri, karena keasaman pupuk yang berlebih dapat menghambat pertumbuhan tanaman *dieffenbachia*.

Pada pemberian 4 hari pertama mulai terdapat 2 bakal calon daun muda dalam keadaan menggulung. Dan pada 4 hari berikutnya mulai tumbuh bakal calon daun muda dalam keadaan menggulung, yang mana 2 bakal calon daun muda sebelumnya sudah mekar. Dan 4 hari selanjutnya tanah tanaman menjadi lebih gembur dan daun terlihat lebih cerah, di karenakan dalam pupuk cair organik ini mengandung unsur hara (N, P, K dan senyawa lainnya) yang dibutuhkan oleh tanah yang baik untuk tanaman.

Tabel 3. Tabel Pengujian Pupuk Cair Organik Pada Tanaman Hias *Dieffenbachia*

No	Hari	Pengamatan	Gambar
1	5 April	Terdapat 2 bakal calon daun muda dalam keadaan menggulung	
2	10 April	2 bakal daun muda mulai mekar dan terdapat 2 bakal calon daun muda dalam keadaan menggulung	
3	13 April	Tanah menjadi lebih gembur dan daun terlihat lebih hijau cerah	

KESIMPULAN

1. Karakteristik pupuk cair organik yaitu berbau seperti tape dan bau masam, pupuk cair organik berwarna kecoklatan dalam keadaan murni, dan pupuk cair organik memenuhi SNI pupuk cair organik yaitu 4-8, dan berdasarkan hasil penelitian pH pupuk cair dalam keadaan murni didapatkan pH 4 dan setelah pengenceran didapatkan pH 5.
2. Pupuk cair organik layak digunakan pada tanaman *dieffenbachia*, yang ditandai adanya beberapa bakal calon daun muda yang menggulung dalam waktu 2 minggu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pusat penelitian UIN Sunan Gunung Djati Bandung

REFERENSI

- [1] Chanshetti, U. (2014). Green Chemistry : Environmentally Benign Chemistry, *1*(1), 110–115.
- [2] Anggraeni, K. dan D. (2012). Sosialisasi Kimia Hijau Daur Ulang Limbah Organik dan Anorganik Didesa Padakembang dan Cilampung Hilir Kecamatan Cisayong Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Aplikasi*

- Iptek Untuk Masyarakat*, *1*(1), 49–56.
- [3] Wahyuningsi, A. S. (2017). Penerapan Prinsip Green Chemistry dalam Pengembangan Modul Praktikum Untuk Mata Kuliah Larutan. *Research Gate*, (November).
- [4] Sigana. (2013). *Potensi dan Pengembangan Objek Wisata Di Kabupaten*. Sumatra Utara: Tidak Dipublikasikan.
- [5] Manik. (2016). *Pengolahan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Predana Kencana.
- [6] Subiro, E. S. (2013). Pembuatan Pupuk Cair dan Biogas Dari Campuran Limbah Sayuran. *Jurnal Teknik Kimia*, *2*(3).
- [7] Tunjung Andarwani, Yaktiworo Indriani, F. E. P. (2016). Gaya Hidup Rumah Tangga Dalam Mengonsumsi Buah-buahan di Bandar Lampung, *4*(1), 94–103.
- [8] Laurentiis, V. De, Corrado, S., & Sala, S. (2018). Quantifying household waste of fresh fruit and vegetables in the EU. *Waste Management*, 1–14.
- [9] Ni Wayan Marsiningsih. (2015). Analisis Kualitas Larutan Mol (Mikroorganisme Lokal) Berbasis Ampas Tahu, *4*(3), 180–190.
- [10] Handayani, S. H. (2015). Uji Kualitas Pupuk Organik Cair Dari Berbagai Macam Mikroorganisme Lokal (MOL). *El-VIVO*, *3*(1).
- [11] Nur, T., Noor, A. R., & Elma, M. (2016). Pembuatan pupuk Organik Cair Dari Sampah Organik Rumah Tangga Dengan Menambahkan Bioaktivator EM4 (Effective Microorganisms), *5*(2).
- [12] Riadi, L. (2013). *Teknologi Permentasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [13] Budianti, N. K. (2016). Analisis Kualitas Larutan Mikroorganisme Lokal (MOL) Bonggol Pisang, *5*(1), 63–72.
- [14] Sopandi, T. (2014). *Mikroba Pangan*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- [15] Budiyan, N. K., Soniari, N. N., & Utari, N. wayan S. (2016). Analisis Kualitas Larutan Mikroorganisme Lokal (MOL) Bonggol Pisang. *Agroteknologi Tropika*, *5*(1), 63–72.
- [16] Palupi, N. P. (2015). Karakter Kimia Kompos Dengan Mikroorganisme Lokal Asal Limbah Sayuran. *Ziraa'ah*, *40*(1), 54–60.
- [17] Ismayana, N. . dan R. (2014). Banana and Papaya Local Microorganisms (MOL) On Plant Growth Sweet Potato (*Ipomea L.*). *Jurnal Agrisistem*, *10*(1).
- [18] Harsudin. (2015). *Mikrobiologi Industri*. Bandung: Alfabeta.

- [19] Cesariaet *al.* (2014). The Effect of Using a Starter on The Quality of Fermented Tapioca Liquid Waste as an Alternative to Liquid Fertilizer, *I*(2), 8–14.

Gula Cair dari Pati Ubi Jalar Kuning (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Secara Hidrolisis Enzimatis dan Asam

TANIA PUTRI¹, NIA YULIANI^{2*}, RTM SUTAMIHARDJA¹

¹Program Studi Kimia FMIPA Universitas Nusa Bangsa. Jl. KH Sholeh Iskandar Km 4 Cimanggu Tanah Sareal Bogor

²Program Studi Biologi FMIPA Universitas Nusa Bangsa. Jl. KH Sholeh Iskandar Km 4 Cimanggu
Tanah Sareal Bogor

* alamat email korespondensi: niayuliani0412@gmail.com

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata kunci: Ubi jalar kuning; pati; hidrolisis enzim; hidrolisis asam; rendemen gula cair.

Gula merupakan kebutuhan sehari-hari dan termasuk kebutuhan pokok yang tergolong dalam kategori sembilan bahan pokok (sembako) dan digunakan sebagai pemberi rasa manis pada makanan dan minuman. Salah satu bahan baku untuk membuat gula cair adalah pati yang berasal dari ubi jalar kuning (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Karbohidrat yang cukup tinggi dari ubi jalar kuning dapat diolah menjadi gula cair alternatif melalui proses hidrolisis pati baik secara enzimatis dan hidrolisis secara asam. Tujuan penelitian untuk mengetahui kadar rendemen gula cair pati ubi jalar kuning yang dihidrolisis secara enzimatis dan hidrolisis dengan asam. Hidrolisis enzim memvariasikan volume enzim alfa amilase dan glucoamilase (1; 1,2; 1,4) mL/kg pati yang setara dengan 25, 30 dan 35 μ L dan hidrolisis asam menggunakan HCl 0,5 N. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gula cair hasil hidrolisis secara enzimatis menghasilkan rendemen gula cair lebih tinggi dibandingkan hidrolisis asam. Rendemen gula cair paling tinggi dihasilkan pada proses hidrolisis enzimatis menggunakan alfa amilase 35 μ L dan glucoamilase 35 μ L sebesar 80,17% dengan nilai gula pereduksi sebesar 63,51%. Rendemen gula cair hidrolisis asam menggunakan HCl 0,5 N sebesar 66,61% dengan nilai gula pereduksi sebesar 58,89%.

Keywords: Yellow sweet potato; starch; enzyme hydrolysis; acid hydrolysis; liquid sugar.

*Sugar is a daily necessity and includes basic needs that fall into the category of nine staples (groceries) and used as a sweet taste in food and drinks. One of the raw materials for making liquid sugar is starch derived from yellow sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). High enough carbohydrates from yellow sweet potato can process into alternative liquid sugars through the process of enzymatic hydrolysis and acid hydrolysis. The purpose of this study was to determine the level of the yield of liquid sugar in yellow sweet potato starch that hydrolyzes enzymatically and hydrolysis with acid. Enzyme hydrolysis varies the volume of the enzyme alpha-amylase and glucoamylase (1; 1.2; 1.4) mL/kg starch, which is equivalent to 25, 30 and, 35 μ L and acid hydrolysis using 0.5N HCl. The results showed that the liquid sugar produced Enzymatic hydrolysis results in a higher yield of liquid sugar than acid hydrolysis. The highest yield of liquid sugar is provided in the enzymatic hydrolysis process using 35 μ L alpha-amylase and 35 μ L glucoamylase at 80.17% with a reducing sugar value of 63.51%. Sugar liquid acid hydrolysis using HCl 0.5 N of 66.61% with a reducing sugar value of 58.89%.*

PENDAHULUAN

Gula merupakan kebutuhan sehari-hari dan termasuk kebutuhan pokok yang tergolong dalam kategori sembilan bahan pokok (sembako), digunakan sebagai pemberi rasa manis pada makanan dan minuman. Peranan gula sebagai pemanis tidak hanya di tingkat rumah tangga, namun di tingkat industri pula. Salah satu bahan alternatif sebagai sumber pemanis selain gula tebu (sukrosa) adalah gula cair .

Bahan baku untuk membuat gula cair adalah pati. Kandungan pati yang cukup banyak dapat diperoleh dari umbi salah satunya adalah ubi jalar. Adanya potensi karbohidrat yang cukup tinggi terutama fraksi pati, menunjukkan bahwa, ubi jalar berpotensi dijadikan sebagai sumber gula, khususnya gula cair. Ini sangat memungkinkan

karena pati merupakan homopolimer glukosa yang jika dihidrolisis akan menghasilkan glukosa [1]. Ubi jalar dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri pangan. Berdasarkan warna umbi, ubi jalar dibedakan menjadi beberapa yaitu ubi jalar putih, ubi jalar kuning, ubi jalar jingga, ubi jalar oranye dan ubi jalar ungu [2]. Ubi jalar kuning memiliki jumlah karbohidrat yang paling tinggi dibanding jenis ubi jalar yang lain [3]. Selain itu, ubi jalar juga merupakan sumber daya bahan yang tersedia melimpah, budi daya yang mudah dan masa panen yang cukup singkat [4].

Pada dasarnya gula cair dapat diperoleh dari hidrolisis pati. Hidrolisis pati dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu hidrolisis asam dan hidrolisis enzim. Pembuatan gula cair dengan hidrolisis secara asam menghasilkan rendemen gula yang lebih rendah bila dibandingkan hidrolisis pati secara enzimatis [5]. Tujuan

penelitian ini untuk mengetahui rendemen gula cair dari pati ubi jalar kuning yang dihasilkan dari hidrolisis enzim dan asam

EKSPERIMEN

Material

Ubi jalar kuning, air suling, alfa amilase (Sigma, aktivitas enzim 20000-60000 U/mL), glukamilase (Sigma), HCl (pa Merck), NaOH (pa Merck), Na_2CO_3 (pa Merck), H_2SO_4 (pa Merck), arang aktif dari tempurung kelapa, resin kation anion, heksana, larutan Luff Schoorl (pa Merck), KI 20% (pa Merck), lugol, indikator BCG dan MM (pa Merck), asam borat, Pb asetat 5% (pa Merck), $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 10% (pa Merck), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N (pa Merck), kanji.

Instrumentasi

Wadah penampung tepung, parutan tangan, kain saring, loyang, oven, *blender*, mikro pipet, *autoclave*, spatula, termometer, pemanas listrik, neraca analitik, penangas air, kolom, botol timbang, cawan porselen, oven, tanur, desikator, labu ukur, pipet volumetri, corong, tabung reaksi, alat *soxhlet*, pH meter, buret, gelas ukur, kertas lakmus, pendingin tegak, alat destilasi.

Prosedur

Pembuatan Pati dari Ubi Jalar [6]

Ubi Jalar dipisahkan dari kulitnya dengan cara dikupas lalu dicuci. Ubi jalar kuning yang sudah bersih kemudian diparut. Hasil parutan ubi ditambahkan dengan air, diperas, dan disaring dengan kain saring. Hasil penyaringan didiamkan selama 8 jam untuk mengendapkan patinya. Air pada bagian atas dibuang, sedangkan endapan pati dicuci dengan air dan diendapkan lagi beberapa saat. Pati yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 24 jam, lalu di *blender*.

Pembuatan Gula Cair [7]

Pembuatan gula cair dilakukan menggunakan dua metode hidrolisis yaitu metode pertama yaitu pembuatan gula cair secara hidrolisis enzimatis dengan variasi volume alfa amilase dan glukamilase. Metode kedua yaitu pembuatan gula cair secara hidrolisis asam menggunakan HCl 0,5 N.

Hidrolisis Enzimatis

Pembuatan gula cair secara hidrolisis enzimatis terdiri atas dua tahap. Pertama adalah tahap likuifikasi. Pati ubi jalar ditimbang sebanyak 25 gram lalu dilarutkan dalam 75 mL air dan diaduk rata, pH diatur 5-7. Sampel dipanaskan pada suhu 90°C dan ditambahkan enzim alfa amilase (1; 1,2 dan 1,4 mL/kg pati) yang setara dengan (25; 30 dan 35 μL) sambil diaduk rata. Proses ini berlangsung selama 60 menit. Setelah itu dianalisis kadar gula pereduksinya.

Hasil optimum likuifikasi diteruskan ke tahap sakarifikasi. Sampel didinginkan sampai 60°C , pH diatur 4-4,6 lalu ditambahkan enzim glukamilase (1; 1,2 dan 1,4 mL/kg pati) yang setara dengan (25; 30 dan 35 μL). Proses ini berlangsung selama 72 jam. Gula cair dinetralkan menggunakan Na_2CO_3 dan ditambahkan 0,5 gram arang aktif lalu dipanaskan pada suhu 80°C dan pengadukan selama 30 menit. Larutan didiamkan selama 1 jam dan disaring. Setelah itu larutan dialirkan ke dalam kolom resin ion lalu sampel diuapkan pada suhu 60°C .

Hidrolisis Asam

Pembuatan gula cair secara hidrolisis asam terdiri atas dua tahap yaitu tahap gelatinisasi dan hidrolisis. Pati ubi jalar ditimbang sebanyak 25 gram ke dalam erlenmeyer lalu ditambahkan air panas sebanyak 75 mL. Setelah itu sampel dipanaskan di atas penangas dengan suhu $60-70^\circ\text{C}$ hingga terbentuk gel. Sampel kemudian ditambahkan HCl 0,5 N sebanyak 15 mL, lalu dimasukkan ke dalam *autoclave* pada suhu 121°C selama 90 menit. Gula cair dinetralkan menggunakan Na_2CO_3 dan ditambahkan 0,5 gram arang aktif lalu dipanaskan pada suhu 80°C dan pengadukan selama 30 menit. Larutan didiamkan selama 1 jam dan disaring. Setelah itu larutan dialirkan ke dalam kolom resin ion lalu sampel diuapkan pada suhu 90°C .

Parameter Fisik dan Analisis Proksimat [8]

Parameter fisik yang dianalisis meliputi rasa, bau, warna dan nilai rendemen. Untuk analisis bau, rasa dan warna menggunakan indra penciuman, pengecap dan penglihatan. Nilai rendemen gula cair dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Rendemen (\%)} =$$

$$\frac{Bs \times \left(\frac{Bk}{100}\right)}{Bp \times \left(1 - \frac{Ka}{100}\right)} \times 100\%$$

Keterangan:

BS : berat glukosa cair
BK : total padatan glukosa cair
BP : berat pati yang digunakan
Ka : kadar air pati

Analisis kadar air, abu, lemak, protein dan karbohidrat menggunakan SNI 01-2891-1992.

Kadar Gula Pereduksi Metode Luff Schoorl [9]

Sampel ditimbang sebanyak 2 gram dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL lalu ditambahkan 50 mL air suling, 5 mL Pb asetat 5% dan 1 tetes $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 10%. Apabila timbul endapan putih, maka penambahan Pb asetat sudah cukup. Larutan sampel ditambahkan 15 mL $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 10%. Larutan ditambahkan air suling sampai tanda batas tera. Larutan dikocok, didiamkan selama 30 menit dan disaring. Hasil saringan dipipet 10 mL ke erlenmeyer lalu ditambahkan 15 mL air suling dan 25 mL Luff Schoorl serta beberapa butir batu didih. Erlenmeyer dihubungkan dengan pendingin tegak lalu dipanaskan di atas penangas listrik dan dididihkan selama 10 menit kemudian diangkat dan didinginkan. Setelah dingin, larutan ditambahkan 10 mL KI 20% dan 25 mL H_2SO_4 25%. Larutan dititrasi menggunakan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N dengan indikator kanji 0,5%. Penetapan blanko dilakukan dengan 25 mL air dan 25 mL Luff Schoorl seperti cara sebelumnya.

$$V_{\text{koreksi}} = \frac{V_{\text{blanko}} - V_{\text{sampel}}}{0,1} \times N_{\text{tio}}$$

$W1 = \text{mg tabel Luff Schoorl} + ((V_{\text{koreksi}} - V_{\text{tio tabel Luff Schoorl})} \times \text{selisih})$

$$\text{gula reduksi (\%)} = \frac{W1 \times fp}{W} \times 100\%$$

Keterangan :

W1 : mg setara tabel Luff School
fp : faktor pengenceran
W : bobot sampel (mg)

Analisis Kandungan Pati Kualitatif

Uji ini bertujuan untuk mengetahui adanya kandungan pati di dalam sampel. Sampel gula cair dipipet sebanyak 5-10 tetes ke dalam tabung reaksi lalu ditambahkan sedikit air untuk

memudahkan pengamatan. Sampel ditambahkan 2 tetes larutan lugol ke dalam tabung reaksi. Perubahan warna diamati. Apabila warna berubah menjadi biru atau ungu, maka dalam sampel positif mengandung pati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen Pati Ubi Jalar Kuning

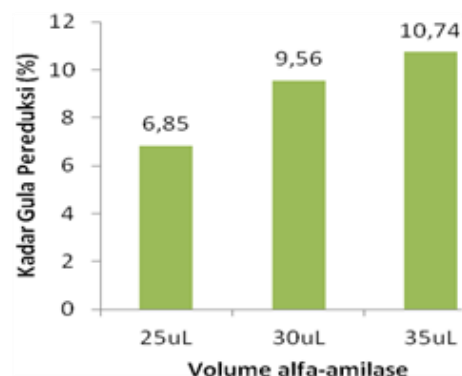
Pada pembuatan gula cair dari pati ubi jalar kuning ini didapatkan rendemen pati ubi jalar kuning sebesar 13,68%. Rendemen pati ubi jalar dapat mencapai 15-25% [10]. Nilai rendemen pati yang dibuat tidak masuk dalam jumlah kisaran rendemen pati ubi jalar. Umur tanaman ubi jalar kuning yang ideal untuk dipanen sekitar 4-6 bulan. Ubi jalar kuning yang digunakan adalah ubi jalar kuning yang dipanen umur 3 bulan, sehingga kandungan pati didalamnya kurang optimal. Hasil dari uji proksimat pati ubi jalar kuning (**Tabel 1**)

Tabel 1 Hasil Analisis Proksimat Pati Ubi Jalar Kuning

Parameter	Pati Ubi Jalar Kuning	Tepung Tapioka SNI
Air (%)	6,55	$\leq 14,00$
Abu (%)	0,41	$\leq 0,50$
Protein (%)	0,83	-
Lemak (%)	0,43	-
Karbohidrat(%)	84,5	-

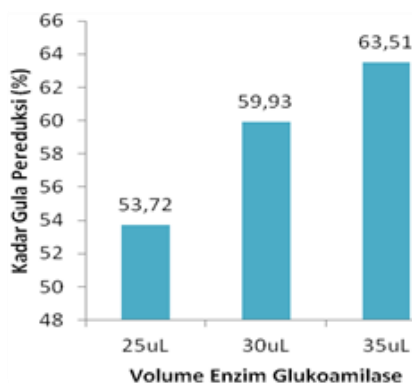
Kadar Gula Pereduksi

Kandungan gula pereduksi menentukan kualitas gula cair yang dihasilkan dari proses hidrolisis pati. Penentuan kadar gula pereduksi pada proses hidrolisis enzimatis dilakukan pada tahap likuifikasi dan sakarifikasi. Tahap likuifikasi dilakukan dengan variasi volume alfa amilase (25; 30 dan 35 μL). Hasil kadar gula pereduksi tahap likuifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Gula Pereduksi Likuifikasi

Kadar gula pereduksi tertinggi pada tahap likuifikasi sebesar 10,74% pada volume enzim alfa-amilase 35 μ L. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar volume enzim yang ditambahkan, maka akan semakin besar kadar gula pereduksi yang dihasilkan dan masih ada kemungkinan kadar gula pereduksi naik apabila volume enzim ditingkatkan atau akan berubah konstan pada batas-batas volume tertentu. Hasil tahap likuifikasi dengan enzim alfa-amilase menunjukkan bahwa kadar gula pereduksi masih rendah. Pada tahap likuifikasi pati belum terhidrolisis sempurna menjadi glukosa. Rendahnya kadar gula pereduksi ini disebabkan enzim alfa-amilase ini memecah ikatan α -(1,4) glikosidik pada substrat dan menghasilkan gula reduksi dan dekstrin dengan glukosa dalam jumlah kecil [11]. Berdasarkan reaksi tersebut, kemudian dilanjutkan tahap sakarifikasi dengan volume enzim alfa-amilase 35 μ L, sebagai volume untuk menghidrolisis pati menjadi gula cair yang paling baik dalam tahap likuifikasi. Tahap sakarifikasi dilakukan menggunakan enzim glucoamilase dengan variasi volume glucoamilase (25; 30 dan 35 μ L).. Hasil kadar gula pereduksi tahap sakarifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.

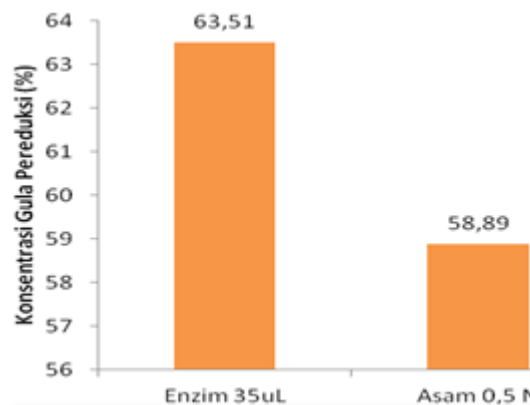


Gambar 2 Gula Pereduksi Sakarifikasi

Berdasarkan Gambar 2. Kadar gula pereduksi tertinggi pada tahap sakarifikasi sebesar 63,51% pada volume enzim glucoamilase 35 μ L. Hasil tahap sakarifikasi menunjukkan terjadi peningkatan kadar gula pereduksi, jika dibandingkan dengan hasil kadar gula pereduksi pada tahap likuifikasi. Adanya peningkatan kadar gula pereduksi ini disebabkan pada saat likuifikasi pati diubah menjadi maltosa, dekstrin dan glukosa oleh alfa-amilase. Pada saat tahap sakarifikasi terjadi proses hidrolisis maltosa dan dekstrin menjadi glukosa oleh enzim glucoamilase yang tidak hanya mampu memutuskan ikatan α - (1,4)

glikosidik tetapi juga mampu menghidrolisis ikatan α -(1,6) glikosidik, sehingga proses hidrolisis berlangsung maksimal [12].

Gula pereduksi hasil hidrolisis asam dengan HCL 0,5 N didapat 58,89 %. Kadar gula pereduksi hasil hidrolisis enzim dan asam (Gambar 3).



Gambar 3 Gula Pereduksi Sampel Hidrolisis Enzim dan Asam

Kadar gula pereduksi gula cair secara enzim yaitu sebesar 63,51% lebih besar bila dibandingkan dengan kadar gula pereduksi gula cair secara asam yaitu sebesar 58,89%. Jika dibandingkan dengan kadar gula pereduksi SNI, kedua kadar gula pereduksi tersebut masih memenuhi standar, batas terendah nilai gula pereduksi SNI sebesar 30%. Kadar gula pereduksi secara hidrolisis enzim lebih besar bila dibandingkan dengan kadar gula pereduksi secara hidrolisis asam, hal ini disebabkan hidrolisis enzim bekerja spesifik. Enzim alfa-amilase bekerja memutus ikatan α - (1,4) glikosidik, dan enzim glucoamilase memecah ikatan α - (1,4) glikosidik dan α - (1,6) glikosidik pada pati. Sedangkan pada hidrolisis pati secara asam, pati akan dipecah secara acak [13].

Hasil Parameter Fisik Gula Cair

Pati ubi jalar dihidrolisis menggunakan enzim dan asam menjadi gula cair. Parameter fisik gula cair yang diuji adalah rasa, bau dan warna. Hasil uji parameter fisik gula cair (Tabel 2)

Tabel 2. Hasil Uji Parameter Fisik Gula Cair

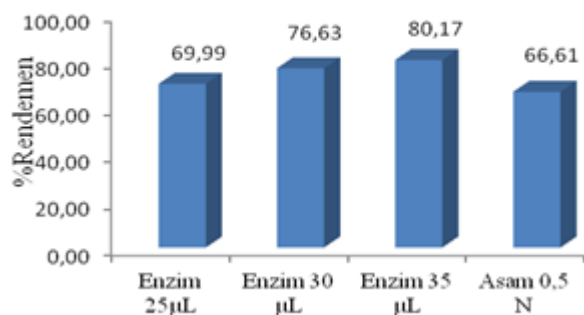
Sampel Gula	Volume	Parameter		
		Rasa	Bau	Warna

Enzim (alfa amilase 35 μ L)	25	Manis	Khas	Kuning kecoklatan
	30	Manis	Khas	Kuning kecoklatan
	35	Manis	Khas	Kuning kecoklatan
Asam Klorida 0,5 N		Manis	Khas	Coklat
SNI 01- 2978- 1992		Manis	Tidak berbau	Tidak berwarna

Gula cair hasil hidrolisis pati secara enzimatis dan asam memiliki rasa manis dan memenuhi persyaratan SNI 01-2978-1992. Untuk parameter bau dan warna belum memenuhi persyaratan. Sampel gula cair memiliki bau yang khas yaitu bau ubi jalar. Gula cair hasil hidrolisis enzimatis berwarna kuning kecoklatan dan gula cair hasil hidrolisis asam berwarna coklat. Hal ini disebabkan karena adanya proses pencoklatan.

Rendemen Gula Cair

Pati ubi jalar kuning yang telah dihidrolisis akan menghasilkan gula cair. Banyaknya jumlah gula cair dari hasil hidrolisis dapat diketahui dengan menghitung rendemen yang dihasilkan. Hasil rendemen gula cair dari hidrolisis enzim dan asam dapat dilihat pada **Gambar 4**.



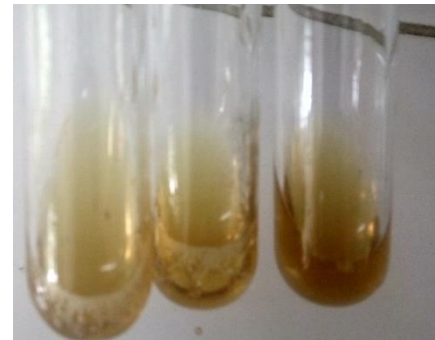
Gambar 4 Rendemen Gula Cair

Rendemen tertinggi hasil hidrolisis pati ubi jalar kuning sebesar 80,17% pada volume enzim 35 μ L. Rendemen gula cair hasil hidrolisis asam sebesar 66,61%. Rendemen gula cair yang dihasilkan dari hasil hidrolisis pati ubi jalar kuning secara enzimatis, lebih besar bila dibandingkan dengan gula cair hasil hidrolisis pati ubi jalar kuning secara asam. Pada hidrolisis pati secara enzimatis, enzim bekerja spesifik. Enzim alfa-amilase bekerja memutus ikatan α -(1,4) glikosidik dan enzim glukamilase memecah ikatan α -(1,4)

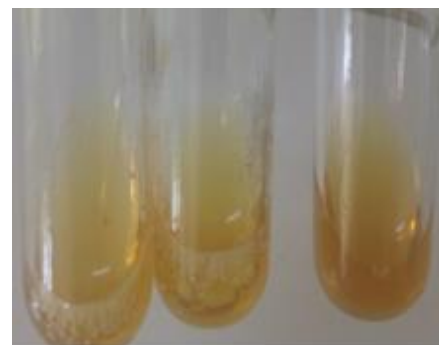
glikosidik dan α -(1,6) glikosidik pada pati. Sedangkan pada hidrolisis pati secara asam, pati akan dipecah secara acak [14].

Hasil Uji Kualitatif Gula Cair

Uji kualitatif pati dilakukan untuk mengetahui adanya kandungan pati dalam sampel gula cair menggunakan larutan lugol. Hasil uji ini dapat dilihat pada Gambar 5.



(A)



(B)

Gambar 5 Uji Lugol Gula Cair Hasil (A) Hidrolisis Enzimatis dan (B) Hidrolisis Asam

Hasil uji lugol untuk kedua gula cair hasil hidrolisis baik secara enzim dan asam memberikan nilai yang negatif, karena warna yang terbentuk hasil dari penambahan pereaksi lugol pada gula cair berwarna kuning. Pembentukan warna tersebut dapat menunjukkan bahwa tidak ada kandungan pati yang terkandung di dalam kedua gula cair, karena pati sudah terhidrolisis menjadi glukosa.

Hasil Uji Proksimat Gula Cair

Gula cair hasil hidrolisis enzim optimum dan gula cair hidrolisis asam selanjutnya dilakukan analisis proksimat dan dibandingkan dengan SNI 01-2978-1992. Hasil analisis proksimat gula cair dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Analisis Proksimat Gula Cair

Parameter	Gula Cair Enzim	Gula Cair Asam
Air (%)	15,62	19,11
Abu (%)	0,50	2,63
Protein (%)	0,39	0,32
Lemak (%)	0,09	0,39
Karbohidrat (%)	82,70	71,66

Nilai kadar air gula cair hasil hidrolisis enzim lebih kecil yaitu 15,62 % bila dibandingkan dengan gula cair hasil hidrolisis secara asam yaitu 19,11 %. Kedua gula cair tersebut memenuhi syarat kadar air SNI yang digunakan yaitu $\leq 20\%$. Tingginya kadar air pada gula cair akan berpengaruh pada tingkat kekentalan gula cair. Gula cair hasil hidrolisis secara enzim lebih kental, dibandingkan dengan gula cair hasil hidrolisis secara asam, sehingga kadar air yang dimiliki gula cair secara enzimatis lebih kecil. Semakin sedikit kadar air semakin baik kualitas sirup glukosa tersebut [15].

Kadar abu gula cair hidrolisis enzim sebesar 0,5% dan kadar abu gula cair hidrolisis asam adalah 2,63%. Tingginya nilai kadar abu dapat menyatakan tingginya keberadaan mineral yang terkandung di dalam gula cair [16]. Persyaratan SNI 01-2978-1992 untuk kadar abu gula cair adalah maksimal 1%. Kadar abu gula cair hidrolisis asam tidak memenuhi syarat. Nilai kadar abu gula cair secara asam lebih tinggi, dibanding gula cair secara enzimatis karena pada saat dilakukan penetralan gula cair secara asam dengan penambahan Na_2CO_3 . Na_2CO_3 akan bereaksi dengan HCl membentuk NaCl yang merupakan garam anorganik yang dapat mempengaruhi kadar abu, sehingga kadar abu dalam gula cair secara asam lebih tinggi dibandingkan secara enzimatis [17].

Kadar Protein pada gula cair secara enzim didapatkan sebesar 0,39%, sedangkan pada gula cair secara asam 0,32%. Kadar protein untuk gula cair hasil hidrolisis secara enzimatis maupun asam masih belum memenuhi standar SNI. Gula cair secara asam memiliki kadar proteinnya lebih kecil dibandingkan dengan gula cair secara enzimatis. Pada proses hidrolisis secara asam, suhu yang digunakan lebih tinggi dibandingkan dengan proses hidrolisis secara enzimatis. Hal ini dapat menyebabkan adanya protein yang rusak pada saat hidrolisis.

Kadar lemak pada gula cair enzim sebesar 0,09% lebih kecil dari gula cair asam yaitu 0,39%. Pada proses hidrolisis enzimatis, waktu yang dibutuhkan lebih lama dibandingkan dengan proses hidrolisis secara asam. Kadar lemak pada bahan pangan tergantung pada lamanya waktu

proses pengolahan menjadi gula cair. Semakin lama proses pengolahan, maka kerusakan lemak akan semakin tinggi.

Kadar karbohidrat gula cair enzim lebih besar yaitu 82,70% bila dibandingkan dengan nilai kadar gula cair asam yaitu 71,66%. Kedua gula cair tersebut memiliki karbohidrat dibawah kadar karbohidrat pati ubi jalar yaitu 84,5%. Faktor yang menyebabkan penurunan kadar karbohidrat yaitu penggunaan suhu yang terlampau tinggi pada saat proses pembuatan kedua gula cair.

SIMPULAN

Rendemen gula cair hasil hidrolisis pati ubi jalar kuning secara enzimatis lebih besar dibandingkan dengan rendemen gula cair hasil hidrolisis pati ubi jalar kuning secara asam. Rendemen gula cair hasil hidrolisis secara enzimatis tertinggi sebesar 80,17% pada volume enzim 35 μL dengan nilai gula pereduksi sebesar 63,51% sedangkan rendemen gula cair hasil hidrolisis secara asam sebesar 66,61% pada konsentrasi 0,5 N dengan nilai gula pereduksi sebesar 58,89%. Gula cair hasil hidrolisis secara enzimatis memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan gula cair hasil hidrolisis secara asam dilihat dari parameter kadar air, kadar abu, kadar gula pereduksi dan kandungan energinya.

REFERENSI

- [1] I. Arnata, B. Admadi and E. Pardede, "Produksi Gula Cair dari Pati Ubi Jalar Melalui Proses Likuifikasi dan Sakarifikasi Secara Enzimatis," Fakultas Teknologi Industri Pertanian Universitas Udayana, Bali, 2013.
- [2] D. Juanda and B. Cahyono, Ubi Jalar. Budi Daya dan Analisis Usaha Tani., Yogyakarta: Kanisius., 2000.
- [3] T. Apriliyanti, "Kajian Sifat Fisikokimia dan Sensori Tepung Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas blackie*) dengan Variasi Proses Pengeringan," Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2010.
- [4] Rosidah, "Potensi Ubi Jalar Sebagai Bahan Baku Industri Pangan," *Teknubuga*, vol. 2, no. 2, pp. 44-52, 2010.
- [5] S. Risnoyatiningsih, "Hidrolisis Pati Ubi Jalar Kuning Menjadi Glukosa Secara Enzimatis," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 5, no. 2, pp. 417-424, 2011.

- [6] S. Koswara, "Ubi Jalar dan Hasil Olahannya (Teori dan Praktek)," Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan dan Seafast Center IPB, Bogor, 2009.
- [7] A. Azis, Suryadi, L. Nuryanah, K. Paramita and N. Nurhayati, "Gula Cair dari Kulit Sigkong Sebagai Alternatif Sumber Glukosa," Intitut Pertanian Bogor, Bogor, 2014.
- [8] Badan Standar Nasional (BSN), SNI 01-2891-1992 .Cara Uji Makanan dan Minuman, Jakarta: BSN, 1992.
- [9] Badan Standarisasi Nasional (BSN), Kembang Gula 2 : Lunak, Jakarta: BSN, 2008.
- [10] S. Koswara, "Pengolahan Ubi Jalar," Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan dan Seafast Center IPB, Bogor, 2013.
- [11] A. Rachmawati and Yunianta, "Hidrolisis Pati Jahe Emprit dengan Enzim Alfa Amilase," *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, vol. 3, no. 3, pp. 1252 -1262, 2015.
- [12] S. Risnoyatiningsih, "Hidrolisis Pati Ubi Jalar Kuning Menjadi Glukosa Secara Enzimatis," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 5, no. 2, pp. 417-424, 2011.
- [13] A. Mahmudatussadah, "Optimasi Produksi Gula Cair dari Pati dan Bubur Ubi Jalar Cilembu Secara Enzimatis dengan Teknik Direct Continous Saccharification," Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan UNiversitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 2013.
- [14] A. Mahmudatussadah, "Komposisi Kimia Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L) Cilembu pada Berbagai Waktu Simpan sebagai Bahan Baku Gula Cair," *PANGAN*, vol. 23, no. 1, pp. 53 - 64, 2014.
- [15] C. Devita, "Perbandingan Metode Analisis Menggunakan Enzim Amilase dan Asam dalam Pembuatan Sirup Glukosa dari Pati Ubi Jalar Ungu," Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2013.
- [16] G. Utiahman, "Karakteristik Kimia dan Organoleptik Nugget Ikan Layang (*Decapterus* sp) yang Disubstitusi dengan Ubi Jalar Putih (*Ipomoea batatas* L)," Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, 2014.
- [17] D. Saputra, "Hidrolisis Kulit Pisang Kepok Menjadi Sirup Glukosa dengan Katalis Asam Klorida," Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2015.

Persepsi Masyarakat Sekitar Tambang Timah Terhadap Penambang Timah Illegal di Tahura Bukit Mangkol Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

Silviani Rahma¹, Tun Susdiyanti², Nengsih Anen³.

^{1,2,3}Fakultas Kehutanan, Universitas Nusa Bangsa Jl. KH. Sholeh Iskandar KM. 4 Kelurahan Cibadak,
Kecamatan Tanah Sereal, Kota Bogor, 16166

* alamat email korespondensi: susdiyanti@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Kata Kunci : Persepsi, Tambang Timah, <i>Illegal mining</i> , Tahura Bukit Mangkol	Keberadaan <i>illegal mining</i> dalam kegiatan pertambangan di Indonesia menunjukkan angka cukup signifikan yang mempunyai dampak terhadap industri pertambangan nasional, disamping itu tingginya harga mineral sejak tahun 1990 turut berkontribusi atas <i>illegal mining</i> . Sejak tahun 1710 sampai sekarang masyarakat Kepulauan Bangka Belitung banyak yang memanfaatkan timah sebagai salah satu alternatif sumber ekonomi yang sudah berlangsung secara turun temurun. Taman Hutan Raya (Tahura) Bukit Mangkol memiliki luas 6.009,51 Ha yang merupakan kawasan konservasi. Banyaknya sumber kekayaan alam berupa timah di wilayah ini, mengakibatkan munculnya pertambangan timah illegal disekitar Tahura Bukit Mangkol. Penelitian bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan persepsi masyarakat sekitar tambang timah Terhadap Penambang Timah <i>Illegal</i> di Tahura Bukit Mangkol Kepulauan Bangka Belitung. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari-April 2019, menggunakan pendekatan metode survey, penentuan responden secara <i>purposive sampling</i> terhadap 30 responden masyarakat sekitar Tahura. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik penambang ilegal didominasi berjenis kelamin laki-laki, usia antara 44-47 tahun, berpendidikan SD, berpenghasilan antara Rp. 500.000-1.000.000,-. Motivasi menambang kemauan sendiri dan bukan merupakan pekerjaan utama. Sedangkan karakteristik masyarakat sekitar Tahura didominasi jenis kelamin laki-laki, didominasi usia 26-30 tahun, pendidikan tertinggi SLTA, pekerjaan utama wiraswasta berpenghasilan > Rp. 1.000.000,-. Persepsi masyarakat sekitar Tahura terhadap penambang timah <i>illegal</i> di Tahura tergolong kategori tinggi (3.9), sedangkan persepsi masyarakat terhadap keberadaan Tahura Bukit Mangkol juga tergolong tinggi (skor 4.1). Tingginya persepsi masyarakat terhadap keberadaan Tahura dan penambang illegal di Tahura Bukit Mangkol, karena masyarakat paham bahwa menambang timah <i>illegal</i> di Tahura Bukit Mangkol dapat merusak kelestarian lingkungan. Peran serta para pihak baik pihak masyarakat maupun pihak Dinas Lingkungan Hidup harus ditingkatkan dalam mengelola kelestarian Tahura Bukit Mangkol.

PENDAHULUAN

Illegal mining adalah istilah yang dipergunakan untuk kegiatan pertambangan yang tidak mempunyai izin atau biasa disebut dengan pertambangan *illegal*. Hal ini didasarkan pada pemikiran bahwa kegiatan pertambangan sebagai kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam berada di bawah pengawasan negara, sebagaimana diamanatkan dalam Pasal 33 Ayat 3 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 bahwa *bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat*. Ketentuan ini dipergunakan sebagai dasar hukum bagi negara untuk melakukan pengawasan terhadap segala

kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam termasuk kegiatan pertambangan dengan konsekuensi bahwa setiap kegiatan pertambangan harus mendapatkan izin dari pemerintah sebagaimana diatur lebih lanjut dalam Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009.

Keberadaan *illegal mining* dalam kegiatan pertambangan di Indonesia menunjukkan angka cukup signifikan yang mempunyai dampak terhadap industri pertambangan nasional. Aktivitas *illegal mining* secara signifikan terjadi pada tahun 1998 dimana terjadi krisis ekonomi dan meningkatnya jumlah pengangguran. Aktivitas penambangan timah illegal terdapat hampir di seluruh Kabupaten Belitung. Aktivitas tersebut bermula dari kebijakan pemerintah daerah untuk membantu masyarakat pada masa krisis ekonomi., masyarakatizinkan menambang

dengan alat sederhana Dampak kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh hasil pertambangan timah konvensional di Kabupaten Belitung yaitu lubang hasil pertambangan, Sebagian besar pertambangan mineral di Indonesia dilakukan dengan cara terbuka. Ketika selesai beroperasi, para pelaku tambang meninggalkan lubang-lubang di bekas areal pertambangannya, lubang-lubang tersebut berpotensi menimbulkan dampak lingkungan jangka panjang, terutama berkaitan dengan kualitas dan kuantitas air [1].

Selain itu, kebijakan desentralisasi pada masa reformasi turut berpengaruh terhadap munculnya aktivitas *illegal mining*. Disamping itu tingginya harga mineral sejak tahun 1990 turut berkontribusi atas *illegal mining* [2].

Taman Hutan Raya (Tahura) adalah Kawasan Pelestarian alam untuk tujuan koleksi tumbuhan dan atau satwa alami atau bukan alami, jenis asli dan bukan jenis asli, yang dimanfaatkan bagi kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata, dan rekreasi. Tahura Bukit Mangkol memiliki luas wilayah 6.009,51 Ha, dan sejak tahun 2016 telah berubah fungsi menjadi Taman Hutan Raya (Tahura), perubahan ini disebabkan kondisi hutannya banyak mengalami degradasi dan kerusakan akibat perambahan, pertambangan timah dan *illegal logging*

Sejak tahun 1710 sampai sekarang masyarakat Bangka banyak yang memanfaatkan timah sebagai salah satu alternatif sumber ekonomi yang sudah berlangsung secara turun temurun. Akibatnya banyak munculnya pertambangan timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol, yang menyebabkan kerusakan lingkungan. Untuk itu perlu diketahui bagaimana karakteristik dan persepsi masyarakat sekitar Tahura terhadap keberadaan penambang timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol.

Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode *survay*. Pengumpulan data dan informasi dilakukan dengan wawancara mendalam/ Indepth-Interview masing-masing 30 responden terhadap masyarakat sekitar Tahura dan kelompok penambang ilegal. Penentuan responden masyarakat secara *purposive sampling*, sedangkan penambang ilegal dengan *snowball sampling*. Data diolah menggunakan *skala likert* dan dianalisis secara deskriptif.

Pengolahan dan analisis data

Instrumen/kuesioner yang akan dipergunakan dilakukan pengujian validasi dan pengujian reliabilitas.

Pengujian Validitas Instrumen

Validasi merupakan suatu ukuran yang menunjukkan tingkat-tingkat kevalidan atau kesahihan sesuatu instrumen. Pengukuran pada analisis butir yaitu dengan cara skor-skor yang ada dikorelasikan dengan menggunakan rumus korelasi *product moment* yang dikemukakan oleh Pearson dalam [3] sebagai berikut :

$$r_{xy} = \frac{\sum xy - \{\sum x\}\{\sum y\}}{N} \sqrt{\left\{ \frac{\sum x^2 - (\sum x)^2}{N} \right\} \left\{ \frac{\sum y^2 - (\sum y)^2}{N} \right\}}$$

Keterangan:

- r_{xy} : koefisien korelasi antara x dan y
- N : jumlah subyek
- X : skor item
- Y : skor total
- $\sum X$: jumlah skor item
- $\sum Y$: jumlah skor total
- $\sum X^2$: jumlah kuadrat skor item
- $\sum Y^2$: jumlah kuadrat skor total

Apabila nilai r_{xy} lebih besar atau sama dengan regresi tabel, maka butir instrumen tersebut valid dan jika r_{xy} lebih kecil dari regresi tabel maka butir instrumen tersebut tidak valid.

Pengujian Reliabilitas Instrumen

Reliabilitas adalah sesuatu instrumen cukup dapat dipercaya untuk digunakan sebagai alat pengumpulan data karena instrumen tersebut sudah baik [3].

Dalam penelitian ini, uji reliabilitas dilakukan dengan menggunakan teknik formula *Alpha Cronbach* dan dengan menggunakan program *Microsoft Excel 2010*.

$$r_{11} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum S_j^2}{\sum S_x^2} \right)$$

Keterangan:

- r_{11} : koefisien reliabilitas alpha
- k : jumlah item
- S_j : varians responden untuk item I
- S_x : jumlah varians skor total

Indikator pengukuran reliabilitas menurut [4] yang membagi tingkatan reliabilitas dengan kriteria sebagai berikut:

Jika alpha atau r hitung :

- $0,80 < r_{11} 1,00$ reliabilitas sangat tinggi
- $0,60 < r_{11} 0,80$ reliabilitas tinggi
- $0,40 < r_{11} 0,60$ reliabilitas sedang
- $0,20 < r_{11} 0,40$ reliabilitas rendah.
- $-1,00 < r_{11} 0,20$ reliabilitas sangat rendah (tidak reliable).

Analisis tingkat persepsi

Analisis tingkat persepsi dengan menggunakan skala likert. Pengukuran persepsi dilakukan untuk mengetahui bagaimana pandangan sikap masyarakat sekitar Tahura terhadap penambang timah illegal. Tanggapan dari Skala Likert 5 untuk penilaian persepsi masyarakat yaitu: Sangat Setuju (ST); Setuju (S); Kurang Setuju (KS); Tidak Setuju (TS); Sangat Tidak Setuju (STS) secara berurut bernilai 5,4,3,2,1.

Tabel 1 Tingkat Persepsi Berdasarkan Skala Likert

No	Interval Nilai Tanggapan	Kriteria
1	1.0 - 1.8	Sangat Rendah
2	1.9 - 2.6	Rendah
3	2.7 - 3.4	Sedang
4	3.5 - 4.2	Tinggi
5	4.3 - 5.0	Sangat Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Tahura Bukit Mangkol Saat Ini

Tahura Bukit Mangkol merupakan satu-satunya Tahura yang ada di Kabupaten Bangka Tengah yang memiliki nilai strategis yang terletak tidak jauh dari pusat kota pemerintahan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang memiliki sumber daya alam yang patut dilestarikan dan menentukan hajat hidup orang banyak.

Hutan Konservasi Gunung Mangkol ditetapkan menjadi Taman Hutan Raya Bukit Mangkol pada 27 Juli 2016 melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan SK.575/Menlhk/Setjen/PLA.2/7/2016 tentang Penetapan Fungsi dalam Fungsi Pokok Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam sebagai Kawasan Taman Hutan Raya Bukit Mangkol, di Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung seluas 6.009,51 Ha.

Akses ke dalam kawasan dapat ditempuh melalui perjalanan darat, dengan menggunakan kendaraan roda 2 atau roda 4. Perjalanan membutuhkan waktu ± 15 menit dari bandara ke lokasi sejauh 5 Km.

Kawasan ini memiliki topografi yang cukup beragam mulai dari landai pada areal yang berada di kaki bukit, bergelombang dengan kelerengan 5-25% hingga berbukit-bukit pada lereng dan puncak Bukit Mangkol dengan kelerengan sekitar 40%.

Potensi flora kawasan antara lain 180 spesies pohon dimana vegetasi penyusun yang paling banyak dijumpai adalah *Pithecolobium sp*, *Palaequium odoratum*, *Canarium odoratum*, *Eugenia polyantha*, *Artocarpus integrata*, *Artocarpus chempeden*, *Hevea brasiliensis*, *Gracina mangostana*, *Terminalia Cattapa*, *Lancium domesticum*, *Lancium sp*, *Nephelium lappaceum*, *Castanopsis acuminatissima*, *Lagerstroemia loudonii*, *Cassia siamea*, *Leucaena glauca*, yang penyebarannya berkelompok.

Sedangkan jenis satwa banyak ditemui: Mentilin (*Tarsius bancanus bancanus*), Kukang (*Nycticebus coucang*), Beruk (*Macaca nemestrina*), Monyet (*Macaca fascicularis*), Lutung (*Trachypithecus auratus*), Babi Hutan (*Sus sacrofa*), Tringgiling (*Manis javanica*), Musang (*Paradoxurus hermaphroditus*) dan Pelanduk Kancil (*Tragulus javanicus*), serta jenis Burung hantu (*Otus angelinae*), Burung betet (*Psittacula alexandri*) dan burung beo (*Gracula religiosa*) dan beberapa jenis Ular dan Biawak.

Karakteristik Penambang Timah Illegal

Data karakteristik responden untuk penambang timah *illegal* yang diambil meliputi: asal desa, usia, jenis kelamin, tingkat pendidikan, penghasilan per bulan, motivasi penambang timah, lamanya menambang, luasan tambang, pekerjaan menambang merupakan pekerjaan utama, keinginan untuk berganti pekerjaan, dan sampai kapan anda akan menambang timah di tahura bukit mangkol. Karakteristik penambang timah illegal dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2 Karakteristik Penambang Timah Illegal

Karakteristik		Prosentase (%)
Asal desa	Desa Terak	40 %
Usia	44-47 Tahun	27 %
Jenis Kelamin	Laki-laki	63 %
Tingkat Pendidikan	Tidak Tamat SD	43 %
Penghasilan per Bulan	Rp. 500.000 – Rp. 1.000.000,-	67 %
Motivasi Menambang	Kemauan Sendiri	83 %
Lama Menambang	>10 Tahun	63 %

Jenis Menambang	Ngelimbang	67 %
Keinginan berganti Pekerjaan	Tidak Bersedia	100 %

Karakteristik Masyarakat Sekitar Sekitar Tahura Bukit Mangkol

Data karakteristik masyarakat sekitar Tahura berupa: usia, jenis kelamin, tingkat pendidikan, penghasilan per bulan, dan jenis pekerjaan. Karakteristik masyarakat sekitar Tahura dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut:

Tabel 3 Karakteristik Masyarakat Sekitar Tahura

Karakteristik		Prosentase (%)
Usia	58-67 Tahun	17 %
Jenis Kelamin	Laki-laki	63 %
Tingkat Pendidikan	Tamat SMA	50 %
Penghasilan per Bulan	>Rp. 1.000.000,-	67 %
Jenis Pekerjaan	Wiraswasta	33 %

Pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa penambang illegal berasal dari desa Terak, termasuk usia produktif dengan penghasilan kurang dari satu juta rupiah, kegiatan menambang sudah berjalan lebih dari 10 tahun dan tidak bersedia meninggalkan kegiatannya walaupun melanggar ijin. Pemahaman tentang kawasan konservasi kurang disebabkan rata-rata penambang berpendidikan rendah. Sedangkan masyarakat sekitar Tahura memiliki latar belakang pendidikan yang cukup tinggi (setingkat SLTA) hal ini menyebabkan masyarakat memiliki pemahaman konservasi yang lebih baik.

Uji Validitas dan Reliabilitas

Dari hasil uji Validasi dan Reabilitas terhadap instrument kuesioner diperoleh hasil bahwa semua pertanyaan valid, dengan nilai *pearson correlation* lebih besar dari 0.361 Sedangkan Reliabilitas diperoleh pada *Cronbach alpha* lebih besar dari 0.6 dan 0,7 atau lebih kecil dari 1. maka dapat dikatakan kuesioner yang akan digunakan reliable.

Persepsi masyarakat terhadap penambang timah *illegal* menunjukkan bahwa sebagian besar sangat menentang adanya penambang timah *illegal* ini karena memberikan dampak negatif bagi masyarakatnya yaitu Banjir yang disebabkan banyaknya pohon yang ditebang secara *illegal*

untuk digunakan sebagai tempat untuk menambang timah sehingga hutan di Bukit Mangkol menjadi rusak. Menurut [5] menyatakan bahwa hutan berfungsi sebagai pelindung yang merupakan kawasan yang keadaan alamnya diperuntukkan sebagai pengatur tata air, erosi dan pencegahan banjir.

Sikap masyarakat terhadap penambang timah *illegal* pada umumnya adalah masyarakat yang sangat tidak setuju dengan adanya penambangan timah *illegal*, masyarakat beranggapan bahwa hutan di Bukit Mangkol merupakan tanggung jawab masyarakat untuk menjaganya, kondisi ini ditunjukkan dengan antusias sebagian masyarakat dalam mendukung tindakan penertiban penambang timah *illegal* oleh aparat dan pemerintah, sikap seperti ini merupakan salah satu kepedulian masyarakat terhadap kelestarian hutan.

Terdapat banyak manfaat yang telah dirasakan oleh masyarakat dari fungsi hutan serta manfaat ekologisnya, sehingga masyarakat menyadari akan pentingnya upaya pelestarian lingkungan. Seperti yang dinyatakan oleh [5], bahwa adanya perhatian dan kepedulian masyarakat karena diperolehnya manfaat yang signifikan dari hutan sehingga meningkatkan minat masyarakat untuk menambah pengetahuan mereka khususnya hal-hal mengenai hutan dan manfaat hutan. Karena pada dasarnya ketertarikan masyarakat terhadap suatu objek timbul karena adanya manfaat bagi masyarakat yang diberikan oleh objek tersebut.

Rata-rata tingkat persepsi masyarakat terhadap penambang illegal sebesar 3,9 termasuk dalam tingkat persepsi tinggi (Tabel 4) bahwa ada dampak negatif dari penambang timah *illegal* serta lingkungan sekitar menjadi rusak. Sikap masyarakat terhadap penambang timah *illegal* juga berhubungan dengan pendidikan, pekerjaan, usia dan penghasilan. Hal ini sesuai pendapat [7] menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat persepsi adalah faktor pendidikan dan pendapatan.

Tabel 4 Persepsi Masyarakat Sekitar Tahura Terhadap Keberadaan Penambang Illegal

Persepsi	Skor	Tingkat persepsi
1. Penambangan Timah illegal di Tahura Bukit Mangkol mengganggu kenyamanan wisata	4,3	Sangat Tinggi

2. Penambangan Timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol tidak ada izin dari Pemerintah setempat untuk menambang	4,4	Sangat Tinggi
3. Penambangan Timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol seharusnya mendapat perhatian lebih dari Pemerintah setempat	4,3	Sangat Tinggi
4. Penambangan Timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol ada dampak positif yang diperoleh	2,4	Sedang
5. Penambangan Timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol ada dampak negatif yang diperoleh	4,2	Tinggi
6. Penambangan Timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol memberikan lapangan pekerjaan	2,7	Sedang
7. Penambangan Timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol mengganggu keamanan masyarakat	3,5	Tinggi
8. Penambang Timah seharusnya tahu kalau tidak boleh menambang Timah di wilayah Tahura Bukit Mangkol	4,5	Sangat Tinggi
9. Penambang Timah yang menambang Timah di Tahura Bukit Mangkol seharusnya diberikan hukum pidana supaya tidak ada lagi yang menambang di wilayah ini	4	Tinggi
10. Penambang Timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol seharusnya mencari Pekerjaan Pengganti	4,6	Sangat Tinggi
Rata-rata	3,9	Tinggi

Tabel 5 Persepsi Masyarakat Sekitar Tahura Terhadap Keberadaan Tahura

Persepsi	Skor	Tingkat persepsi
1. Adanya penambangan Timah ilegal merusak pemandangan dan kondisi alam di Tahura Bukit Mangkol	4,1	Tinggi

2. Kondisi Tahura Bukit Mangkol saat ini sudah cukup baik	4,3	Sangat Tinggi
3. Adanya Tahura Bukit Mangkol udara sekitar terasa sejuk	3,8	Tinggi
4. Adanya Tahura air PAM yang ada di Bukit Mangkol menjadi lebih jernih	4,2	Tinggi
5. Adanya keinginan untuk menjaga Tahura Bukit Mangkol karena memberikan manfaat yang besar	4,2	Tinggi
6. Dengan diadakannya Bukit Mangkol sebagai Tahura membuat pemukiman di sekitar Tahura Bukit Mangkol bertambah	4,1	Tinggi
7. Masyarakat sekitar Bukit Mangkol ikut menjaga kelestarian Tahura	4	Tinggi
8. Masyarakat sekitar Bukit Mangkol Tahu Sejarah mengapa Bukit Mangkol dijadikan Tahura	4	Tinggi
9. Dengan dijadikan Tahura bukit mangkol sebagai objek wisata	4,5	Sangat Tinggi
10. Adanya pengetahuan baru dalam mengelola dan melestarikan Tahura	3,7	Tinggi
Rata-rata	4,1	Tinggi

. Sikap masyarakat terhadap Tahura Bukit Mangkol sangat positif untuk membantu pihak pengelola dalam mengelola kawasan dengan baik. Sikap diperlukan untuk mengetahui lebih dalam mengenai hubungan dengan persepsi, tanggapan masyarakat terhadap Tahura Bukit Mangkol dalam menyingkapi adanya pihak pengelola Tahura, yaitu Dinas Lingkungan Hidup cenderung terbuka menerima keberadaan pihak pengelola.

Masyarakat berharap pengelolaan Tahura Bukit Mangkol bisa memberikan kegiatan yang positif bagi masyarakat sekitar seperti bersama-sama melakukan pengawasan atau monitoring kelestarian Tahura Bukit Mangkol. Masyarakat telah membentuk suatu organisasi yaitu Mangkol Lestari untuk membantu pengelolaan di Tahura Bukit Mangkol seperti melakukan penanaman pohon di bekas lahan tambang timah. Hasil penelitian menunjukkan persepsi masyarakat terhadap keberadaan Tahura Bukit Mangkol kategori tinggi dengan skor 4,1 (Tabel 5), hal ini

sesuai dengan pernyataan [8] yang menyatakan bahwa tingkat persepsi tinggi, dikarenakan adanya ketergantungan terhadap sumberdaya alam.

SIMPULAN

1. karakteristik penambang ilegal didominasi berjenis kelamin laki-laki, usia antara 44-47 tahun, berpendidikan SD, berpenghasilan antara Rp. 500.000-1.000.000,-. Motivasi menambang kemauan sendiri dan bukan merupakan pekerjaan utama. Sedangkan karakteristik masyarakat sekitar Tahura didominasi jenis kelamin laki-laki, didominasi usia 26-30 tahun, pendidikan tertinggi SLTA, pekerjaan utama wiraswasta berpenghasilan > Rp. 1.000.000,-.
2. Persepsi masyarakat sekitar Tahura terhadap keberadaan Tahura dan terhadap keberadaan penambang ilegal di Tahura tergolong tinggi. Adanya penambang timah ilegal di Tahura Bukit Mangkol dapat merusak kelestarian lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada sivitas akademika Fakultas Kehutanan Universitas Nusa Bangsa, Dinas Lingkungan Hidup Bangka Tengah, Kepala Desa Terak, serta masyarakat sekitar Tahura Bukit Mangkol yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian di Tahura Bukit Mangkol.

REFERENCES

- [1] F. d. Pirwanda, "Dampak Kegiatan Tambang Timah Inkonvensional Terhadap Perubahan Guna Lahan Di Kabupaten Belitung," *Jurnal Planologi*, vol. 2 no. 3, 2015.
- [2] S. Resosudarmo, "Socioeconomic Conflict in Indonesia's Mining Industry," Washington DC, The Henry L. Stimson Center, 2009, pp. 33-48.
- [3] S. Arikunto, "Metodologi Penelitian Suatu Pendekatan Proposal," Jakarta, PT. Rineka Cipta, 2002.
- [4] U. Sekaran, *Metodologi Penelitian*, Yogyakarta: Salemba Empat, 2000.
- [5] A. Arief, "Hutan dan Kehutanan," dalam 2001, Yogyakarta, Kanisius.
- [6] E. d. Ratnawati, "Tingkat Kepedulian Masyarakat Pesisir Dalam Melestarikan Fungsi Hutan Mangrove dan Hutan Payau di Desa Sukabaru Kabupaten Ketapang," *Jurnal Hutan Lestari*, vol. Vol 2 no. 2, 2014.
- [7] G. d. I. Masria, "Persepsi dan Sikap Masyarakat Lokal Terhadap Hutan di Desa LabuanToposo Kecamatan Kabuan Kabupaten Donggala," *Warta Rimba*, vol. 3(2), 2015.
- [8] A. Ngakan, Putu Oka, H. Komarudin A. Achmad, Wahyudi, Ketergantungan, persepsi dan Partisipasi Masyarakat Terhadap Sumberdaya Hayati Hutan, Studi Kasus di Dusun Pampli, 2006.

Radiolabeling Rutin (Quercetin-3-O-Rutinoside) dengan Iodium-131 (^{131}I) dalam Suasana Asam sebagai Senyawa Bertanda Kandidat Terapi dan Diagnosis Kanker

MAULA EKA SRIYANI^{1*}, EVA MARIA WIDYASARI¹, MUHARAM MARZUKI², FAUZIAH ISNANI²

¹BATAN, Jl. Tamansari No. 71 Bandung

²Farmasi UNJANI, Cimahi

* alamat email korespondensi: maula@batan.go.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: radioiodinasi; iodium-rutin; antikanker; rutin; asam</p>	<p>Kanker merupakan penyakit yang menjadi penyebab kematian utama di seluruh dunia akibat terlambatnya deteksi dan terapi. Salah satu metode deteksi dan terapi kanker adalah penggunaan senyawa bertanda sebagai agen teranostik. Penelitian ini melakukan sintesis senyawa bertanda ^{131}I-Rutin (Quercetin-3-O-Rutinoside) sebagai kandidat sediaan yang dapat digunakan untuk agen teranostik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kondisi optimum penandaan ^{131}I-Rutin dengan metode kloramin T pada suasana asam sehingga menghasilkan senyawa bertanda dengan kemurnian yang tinggi. ^{131}I-Rutin dibuat dengan menggunakan rutin, Na^{131}I, kloramin T dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Kemurnian radiokimia yang dihasilkan ditentukan dengan metode kromatografi lapis tipis (KLT) menggunakan fase gerak metanol dan elektroforesis kertas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi penandaan optimum pada kondisi asam dilakukan dengan penggunaan $20\mu\text{L}$ (1 mg/mL) kloramin T, 2 mg rutin pada pH 4 selama 3 menit. Efisiensi penandaan rutin menggunakan ^{131}I yang didapatkan sebesar $92,32 \pm 1,66\%$ dengan kemurnian radiokimia sebesar $91,85 \pm 0,68\%$. Diharapkan keberhasilan penandaan ^{131}I-Rutin dapat dikembangkan dan digunakan sebagai sediaan untuk deteksi dan terapi kanker.</p>
<p>Keywords: radioiodination; iodine-rutin; anticancer; rutin; acidic.</p>	<p><i>Cancer is the leading cause of death disease due to its late diagnosis and therapy. One of a method that can detect and treat cancer is labeling compound as the theranostic agent. The synthesis of ^{131}I-Rutin (Quercetin-3-O-Rutinoside) as a theranostic radiolabeled compound candidate was studied in this research. In an acidic solution, rutin, Na^{131}I, chloramine T and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ were optimized to produce high radiochemical purity of ^{131}I-rutin. The radiochemical purity of ^{131}I-rutin determined by thin-layer chromatography (TLC) method using methanol as a mobile phase and paper electrophoresis. The result showed that the high labeling purity carried out with using $20\mu\text{L}$ (1 mg / mL) chloramine T, 2 mg of rutin at pH 4 for 3 minutes. The labeling efficiency reached at $92.32 \pm 1.66\%$ with a radiochemical purity of $91.85 \pm 0.68\%$. The successful labeling of ^{131}I-rutin is expected to be developed and used as a theranostic agent.</i></p>

PENDAHULUAN

Kanker dapat didefinisikan sebagai penyakit dimana sekelompok sel tumbuh secara abnormal dan tak terkendali [1]. Menurut data *World Health Organization (WHO)* pada tahun 2012, terdapat 14,1 juta kasus baru dan 8,2 juta orang meninggal dunia karena kanker [2]. Sedangkan menurut data Riset Kesehatan dasar (Riskesdas) 2018, prevalensi kanker di Indonesia adalah 1,8 per 100 penduduk. Jika dilihat dari data BPJS Kesehatan, terdapat peningkatan jumlah kasus kanker yang ditangani serta pembiayaannya pada periode 2014/2015. Pada tahun 2017 ini

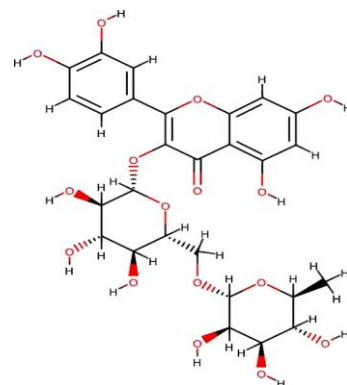
diprediksikan hampir 9 juta orang meninggal di seluruh dunia akibat kanker dan akan terus meningkat hingga 13 juta orang per tahun di 2030 [3]. Data tersebut menunjukkan bahwa insidensi kanker cukup tinggi, sehingga diperlukan penanggulangan yang tepat. Deteksi dan terapi secara dini dapat dilakukan untuk menanggulangi risiko kematian akibat kanker.

Salah satu metode alternatif untuk deteksi penyakit kanker adalah teknik nuklir yaitu menggunakan radiofarmaka [4]. Radiofarmaka adalah suatu sediaan yang mengandung radioisotop yang digunakan di area klinis utama untuk diagnosis dan terapi [5].

Radioisotop yang ideal untuk tujuan deteksi dan terapi kanker yaitu radioisotop yang dapat memancarkan radiasi beta dan gamma. Radioisotop yang menjadi pilihan untuk tujuan tersebut yaitu iodine-131 (^{131}I). ^{131}I adalah radioisotop yang memiliki waktu paruh 8 hari dengan pancaran partikel beta pada 636 keV dan gamma pada 364 keV [6]. Pancaran sinar beta tersebut digunakan untuk tujuan terapi sedangkan pancaran sinar gamma digunakan untuk deteksi kanker [6]. ^{131}I memiliki energi yang tinggi sehingga cocok digunakan untuk pengamatan biodistribusi karena memiliki kemampuan untuk menembus jaringan hidup sehingga biodistribusi dalam tubuh makhluk hidup mudah diamati [7]. Penggunaan senyawa yang memiliki aktivitas antikanker untuk ditandai dengan ^{131}I dimaksudkan agar terapi kanker menghasilkan efek yang maksimal.

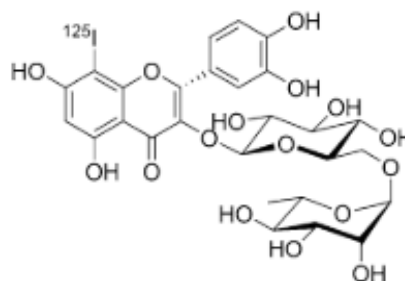
Senyawa golongan flavonoid merupakan metabolit sekunder yang mempunyai berbagai aktivitas diantaranya sebagai antikanker dan antioksidan[8]. Salah satu senyawa flavonoid yang memiliki aktivitas antioksidan adalah senyawa rutin[9]. Rutin dengan struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 1, adalah flavonol glikosida terdiri dari kuersetin flavonol dan rutinose disakarida. Rutin banyak ditemukan pada buah-buahan, sayuran dan minuman yang berasal dari tanaman seperti teh dan anggur, biji soba, buah-buahan, dan kulit buah, terutama buah sitrus (jeruk, jeruk bali, lemon). Rutin menawarkan keuntungan lebih dari myricetin, quercetin, dan flavonoid lainnya, yaitu rutin dapat menjadi agen prooksidatif dan mengkatalisis produksi radikal oksigen [10]. Selama beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah memberikan bukti bahwa rutin bertindak sebagai pencegah perkembangan sel kanker yang efektif. Efek antikanker dari rutin dipelajari oleh Sel Manet al.in Human leukemia HL-60, dan ditemukan bahwa rutin dapat menghambat tumor[10].

Rutin memiliki aktivitas sebagai antiradikal karena memiliki gugus polifenol yang merupakan gugus dasar pada senyawa flavonoid. Melalui pembentukan ikatan hidrogen serta berpartisipasi dalam proses dislokasi elektron, struktur O-dihidroksi pada cincin B dapat membuat stabilitas radikal menjadi lebih tinggi. Ikatan rangkap pada C-2,3 bersama gugus keton pada C-4 bertanggung jawab untuk dislokasi elektron dari cincin B. Keberadaan gugus hidroksil pada C-5 memberikan kemampuan antiradikal lebih maksimal serta merupakan pengabsorpsi radikal yang terkuat [12].



Gambar 1 Struktur Quersetin-3-O-Rutinoside (rutin) [11]

Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Choi dkk pada tahun 2016 yang menunjukkan bahwa rutin dapat ditandai dengan menggunakan isotop Iodium-125 (^{125}I -rutin). Penandaan nonradioaktif pada suasana asam menghasilkan senyawa rutin teriodinasi dengan struktur dapat dilihat pada Gambar 2. Penandaan dengan radioisotop iodine-125 menghasilkan efisiensi penandaan sebesar 53,5% dan senyawa yang terbentuk menunjukkan bahwa ^{125}I -rutin dapat digunakan sebagai agen untuk diagnosis adanya penyakit pada usus [13]. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diperkirakan bahwa rutin dapat ditandai dengan menggunakan isotop ^{131}I yang perbedaannya terletak pada waktu paruh serta jenis lurutan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan senyawa rutin yang ditandai dengan radionuklida iodine-131 dengan kemurnian radiokimia yang tinggi pada suasana asam. Penggunaan radionuklida iodine-131 pada penelitian ini dimaksudkan agar senyawa bertanda ^{131}I -Rutin hasil penandaan dapat digunakan untuk tujuan diagnosis sekaligus terapi.



Gambar 2 Struktur senyawa rutin teriodinasi pada suasana asam.

EKSPERIMEN

Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rutin (Sigma Aldrich®), dimetil sulfoksida (DMSO) (E. Merck®), natrium iodida-131 (Na^{131}I) (PTTR Serpong), asam asetat (CH_3COOH) (E. Merck®), buffer salin fosfat (PBS), kloramin T (Sigma Aldrich®), natrium metabisulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (E. Merck®), *aqua pro injection* (Ikapharmindo Putramas®), natrium hidroksida (NaOH) (E. Merck®), asam klorida (HCl) (E. Merck®), kloroform p.a (E. Merck®) dan *methanol for chromatography* (E. Merck®).

Instrumentasi

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem pencacah *Single Channel Analyzer* (SCA) dengan detektor NaI(Tl) (Ortec®, model 4890), *TLC – Scanner* (Bioscan®), *shaker* (Biotech®), satu set alat kromatografi kertas, *dose calibrator* (Victoreen®), oven (Mettler®), *vortex mixer* (Retsch®), pH indikator universal (E. Merck®), timbangan analitik (Mettler Toledo®), *syringe* (Terumo®), mikropipet berbagai ukuran, corong pisah, tip, vial 10 mL, *microtube* 2 mL, kontainer timbal penahan radiasi, alat elektroforesis kertas dan alat-alat gelas lainnya.

Prosedur

penandaan ^{131}I -Rutin

Radioiodinasi rutin dilakukan dengan cara melarutkan rutin (0,5 – 4 mg/200 μL DMSO), ditambahkan asam asetat 50% sebanyak 100 μL kemudian pH larutan diatur (3-9) dengan menambahkan sedikit demi sedikit HCl 0,1 N atau NaOH 0,1 N. Kemudian pH larutan diukur untuk mengetahui kondisi pH sebelum reaksi penandaan dengan radionuklida ^{131}I . Setelah itu, masing-masing ke dalam masing-masing vial ditambahkan larutan Na^{131}I ($\pm 0,175 \text{ mCi}/50 \mu\text{L}$) dan ditambahkan kloramin T (10-40 μg). Volume larutan diatur menjadi 900 μL dengan penambahan aquabides. Senyawa bertanda diinkubasi selama 1-10 menit pada suhu ruang. Kemudian, ditambahkan 100 μL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (5 mg/mL aquabides) ke dalam masing-masing vial dengan tujuan untuk menghentikan reaksi oksidasi yang terjadi. Radioaktivitas awal penandaan dicatat. Kemudian dilakukan pemurnian dengan metode ekstraksi cair-cair menggunakan fase air dan kloroform. Fase air dikumpulkan dan

dilakukan pencatatan radioaktivitas akhir untuk mengetahui efisiensi penandaan. Kemurnian radiokimia dari ^{131}I -Rutin tersebut ditentukan dengan metode Kromatografi Lapis Tipis.

Penentuan Kemurnian Radiokimia ^{131}I -Rutin

Kemurnian radiokimia ^{131}I -Rutin ditentukan dengan metode kromatografi lapis tipis (*Thin Layer Chromatography/TLC*). Fase gerak yang digunakan adalah metanol dengan fase diam plat *TLC Silica Gel F₂₅₄ aluminium sheet* yang digunting dengan ukuran 1×10 cm, kemudian diberi tanda pada setiap sentimernya mulai angka -1 hingga 8. Sebelum digunakan, plat kromatografi dipanaskan beberapa menit dengan tujuan untuk menghilangkan adanya kandungan air yang dapat mengganggu proses pemisahan. Senyawa bertanda ^{131}I -Rutin ditotolkan pada fase diam pada angka nol, kemudian dilusi menggunakan metanol sebagai fase gerak. Setelah eluen mencapai angka delapan, plat diangkat kemudian dikeringkan menggunakan oven. Pengukuran kemurnian radiokimia dilakukan menggunakan instrumen *Single Channel Analyzer* (SCA). Penentuan kemurnian radiokimia dilakukan dengan cara menghitung pengotor I⁻ pada R_f 0,9 – 1 dan I₂ pada R_f 0, sedangkan ^{131}I -Rutin terletak pada R_f 0,6-0,7.

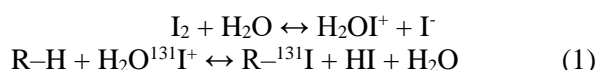
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan senyawa rutin dengan menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT). Beberapa penelitian yang telah dilakukan memperlihatkan R_f Rutin yang berbeda-beda, misalnya R_f 0,5 dengan fase gerak etil asetat : toluen : asam format = 7:3:1 [14], dan R_f 0,44 dengan fase gerak etil asetat: asam asetat: asam format: air (100:11:11:27) [15]. Pada penelitian ini digunakan fase diam *TLC Silica Gel F₂₅₄* dengan fase gerak metanol, yang bertujuan untuk mengetahui spot senyawa rutin tersebut. Hasil yang diperoleh berdasarkan pengamatan dengan sinar UV pada panjang gelombang 254 nm, spot rutin berwarna kuning-coklat dengan spot terbesar pada R_f 0,6-0,7. Berdasarkan hal tersebut, kemungkinan senyawa bertanda ^{131}I -rutin akan berada pada R_f 0,6-0,7.

Pada reaksi penandaan rutin dengan ^{131}I ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, antara lain jumlah oksidator (kloramin T), jumlah ligan (rutin), dan waktu inkubasi. Selain itu, pH dapat mempengaruhi reaksi penandaan, sehingga perlu

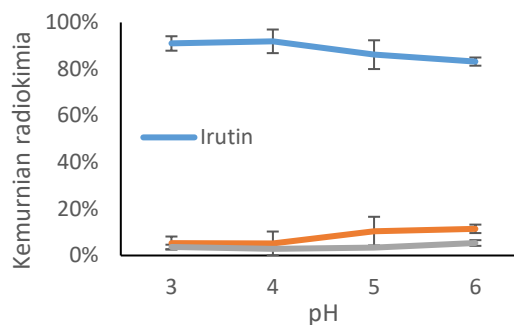
dilakukan optimasi pada kondisi pH tertentu agar dihasilkan kemurnian radiokimia yang tinggi [16].

Molekul bebas iodium dalam air akan membentuk struktur I^+-I^- dan bentuk elektrofiliknya berada dalam bentuk kompleks bersama dengan air membentuk H_2OI^+ disebut ion iodonium terhidrasi yang merupakan molekul yang berperan dalam proses iodinasi [17]. Reaksi iodinasi yang terjadi berdasarkan mekanisme substitusi elektrofilik dimana ion hidrogen dari senyawa yang akan ditandai akan digantikan oleh H_2OI^+ , seperti tertera pada persamaan (1) [17].

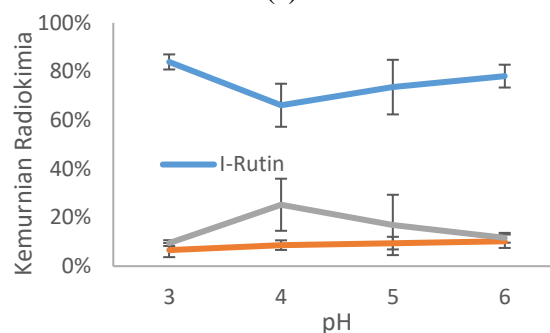


Pada penelitian ini, optimasi pH dilakukan pada pH cenderung asam, hal ini mengikuti prosedur penandaan yang dilakukan oleh Mi Hee Choi et.al (2015) [13]. Oleh karena itu dilakukan penambahan larutan asam asetat yang berfungsi untuk mempertahankan kondisi reaksi dalam suasana asam sehingga dihasilkan produk utama yang tunggal dan meminimalisir terbentuknya produk yang tidak diinginkan [13]. Pada penelitian ini juga dilakukan penandaan ^{131}I -rutin tanpa penambahan asam asetat. Hasil penelitian disajikan pada Gambar 3.

Hasil optimasi pH pada Gambar 3. menunjukkan pH optimal dengan penambahan asam asetat didapat pada pH 3-4 dengan KRK maksimal sebesar $91,90 \pm 5,07\%$ dengan efisiensi penandaan sebesar $83,07 \pm 0,68\%$, sedangkan pada kondisi tanpa penambahan asam asetat, pH optimal diperoleh pada pH 3 dengan kemurnian radiokimia sebesar $83,90 \pm 3,10\%$ dan efisiensi penandaan sebesar $84,30 \pm 3,32\%$. Kondisi asam akan membuat kloramin-T sebagai oksidator menjadi elektrofilik yang lebih baik, sehingga reaksi substitusi elektrofilik berlangsung lebih efektif [18]. Berdasarkan hal tersebut, dapat ditunjukkan bahwa penambahan asam asetat cukup efektif untuk mempertahankan kondisi asam pada saat reaksi, sehingga pembentukan produk yang tidak diinginkan menjadi lebih sedikit. Efisiensi penandaan yang diperoleh menggunakan radioisotop ^{131}I lebih besar dibandingkan dengan ^{125}I kemungkinan dikarenakan pada penandaan ^{125}I -Rutin dilakukan pemurnian dengan HPLC preparatif [13], sedangkan ^{131}I -Rutin pemurnian dilakukan menggunakan metode ekstraksi cair-cair.



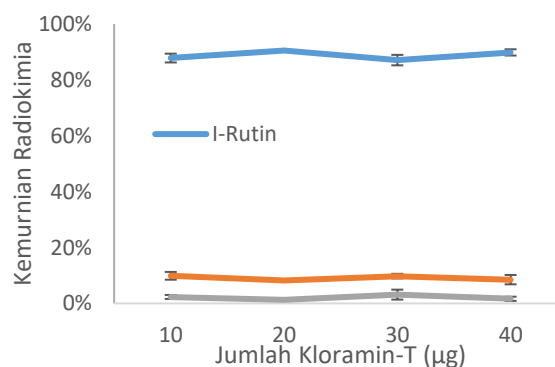
(a)



(b)

Gambar 3 Pengaruh variasi pH terhadap kemurnian radiokimia ^{131}I -Rutin dengan penambahan asam asetat (a) dan tanpa penambahan asam asetat (b).

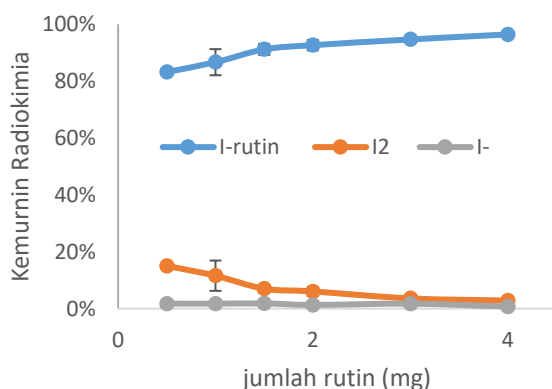
Reaksi radioiodinasi membutuhkan suatu oksidator untuk menaikkan bilangan oksidasi I^- dari NaI . Pada penelitian ini digunakan Kloramin-T sebagai oksidator dengan jumlah yang tertentu. Oleh karena itu dilakukan optimasi jumlah oksidator sehingga didapat nilai kemurnian radiokimia maupun efisiensi penandaan yang maksimal. Pada tahap ini, jumlah kloramin-T yang ditambahkan dibuat bervariasi dengan rentang 10 – 40 μg . Berdasarkan Gambar 4, diketahui bahwa jumlah kloramin-T optimal yang dapat digunakan untuk memperoleh hasil kemurnian radiokimia ^{131}I -Rutin yang maksimal diperoleh pada nilai 20 μg .



Gambar 4 Pengaruh Jumlah Oksidator terhadap kemurnian radiokimia ^{131}I -Rutin

Kloramin-T diperlukan dalam reaksi iodinasi untuk mengoksidasi I^- menjadi I^+ atau I_2 . Apabila jumlah kloramin-T tidak optimal, maka jumlah pengotor akan bertambah dan iodium yang ada tidak dapat digunakan untuk menandai rutin. Apabila jumlah Kloramin-T sedikit, maka ion I^- tidak dapat teroksidasi menjadi ion I^+ , sedangkan apabila jumlah Kloramin-T terlalu banyak, maka dikhawatirkan akan terjadi reaksi oksidasi samping seperti klorinasi dan polimerisasi [19]. Pada penelitian ini diperoleh nilai kemurnian radiokimia tertinggi sebesar $90,48 \pm 0,31\%$ dan efisiensi penandaan sebesar $83,59 \pm 3,45\%$.

Variasi jumlah ligan (Rutin) telah dilakukan dengan hasil penandaan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Pengaruh jumlah ligan terhadap kemurnian radiokimia ^{131}I -Rutin

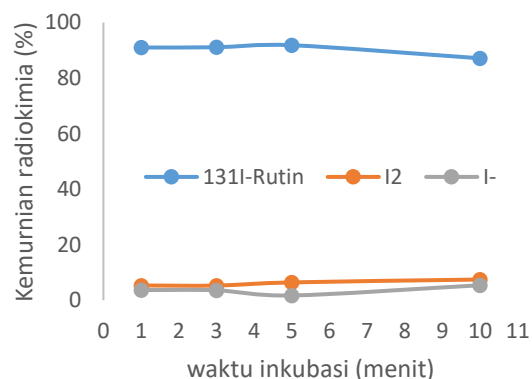
Hasil efisiensi penandaan dan kemurnian radiokimia ^{131}I -Rutin berdasarkan penentuan jumlah rutin, nilai kemurnian radiokimia maksimal sebesar $96,41 \pm 0,69\%$ didapat pada jumlah ligan sebanyak 4 mg. Akan tetapi kondisi sediaan yang diperoleh terbentuk endapan yang melayang dalam larutan setelah didiamkan beberapa saat. Semakin tinggi konsentrasi rutin yang ditambahkan maka semakin cepat laju pembentukan endapan dan semakin banyak pula jumlah endapan yang terbentuk. Pembentukan endapan terjadi karena adanya interaksi pelarut DMSO yang digunakan untuk melarutkan rutin dengan air yang digunakan sebagai pembawa. DMSO yang bersifat higroskopis dapat menyerap air disekitarnya dan meningkatkan viskositas larutan. Setelah DMSO terhidrasi. Senyawa yang larut dalam DMSO akan keluar dari larutannya jika waktu yang dibutuhkan telah cukup [20]. Berdasarkan hal tersebut, maka dipilih jumlah rutin sebanyak 2 mg karena:

- kemurnian radiokimia yang diperoleh terbilang tinggi dan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan ($>90\%$)

- pembentukan endapan terjadi pada waktu yang cukup lama
- jumlah endapan yang terbentuk tidak banyak.

Pada penelitian yang dilakukan Mi Hee Choi dkk (2015), disebutkan bahwa waktu inkubasi yang singkat menjadi faktor yang krusial untuk mendapatkan senyawa bertanda dengan kemurnian radiokimia yang tinggi[13]. Oleh karena itu, optimasi waktu inkubasi dilakukan dengan memvariasikan waktu inkubasi dengan rentang 1-10 menit dan mengetahui pengaruhnya terhadap kemurnian radiokimia yang dihasilkan.

Dari hasil penelitian pada gambar 6, diperoleh bahwa dalam waktu 5 menit setelah penandaan dimulai, reaksi yang maksimum telah dicapai. Dihasilkan ^{131}I -Rutin dengan efisiensi penandaan sebesar $92,31 \pm 1,66\%$ dan kemurnian radiokimia sebesar $91,85 \pm 0,68\%$. Berdasarkan analisis statistik ANOVA, diperoleh hasil bahwa nilai kemurnian radiokimia berbeda.



Gambar 6 Kemurnian radiokimia hasil variasi inkubasi waktu.

Hasil ini menunjukkan perbedaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mi Hee Choi dkk, dimana hasil penelitian menunjukkan waktu inkubasi yang lebih panjang. Hal ini disebabkan karena perbedaan jumlah rutin yang digunakan dalam reaksi. Sehingga semakin banyak rutin yang digunakan maka semakin panjang waktu inkubasi yang diperlukan untuk mendapatkan hasil reaksi yang maksimal. Rendahnya kemurnian radiokimia dalam waktu yang lebih singkat terjadi karena kurangnya waktu yang diperlukan reaktan untuk bereaksi secara maksimal sehingga menghasilkan hasil samping dari ketidaksempurnaan reaksi yang terjadi. Sedangkan, penurunan kemurnian radiokimia yang terjadi pada waktu yang lebih lama seiring waktu yang bertambah dikarenakan reaksi penandaan yang terjadi secara bolak balik atau berlangsung dua arah (reversible)[17].

SIMPULAN

Penandaan rutin menggunakan radionuklida ^{131}I dengan metode kloramin-T telah berhasil dilakukan. Reaksi penandaan yang optimum telah menghasilkan ^{131}I -Rutin dengan efisiensi penandaan sebesar $92,31 \pm 1,66\%$ dan kemurnian radiokimia sebesar $91,85 \pm 0,68\%$ yang telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam *United State Pharmacopeia* (USP) karena tidak kurang dari 90%. Pembuatan ^{131}I -Rutin yang optimum dilakukan pada pH 4 dengan penambahan asam asetat; dengan jumlah kloramin T sebanyak 20 μL dan jumlah rutin sebanyak 2 mg dalam waktu inkubasi selama 5 menit.

REFERENSI

- [1] M. Hejmadi, *Introduction to Cancer Biology*, 2nd ed. booknboon.com, 2010.
- [2] J. Ferlay, E. Steliarova-foucher, J. Lortet-tieulent, and S. Rosso, "Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries in 2012," *Eur. J. Cancer*, vol. 49, no. 6, pp. 1374–1403, 2013.
- [3] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Kementerian Kesehatan Ajak Masyarakat Cegah dan Kendalikan Kanker," 2017. .
- [4] A. Berger, "Positron Emission Tomography," vol. 326, no. June, p. 85233, 2003.
- [5] WHO, "Final text for addition to The International Pharmacopoeia," 2008. .
- [6] G. . Saha, *Fundamentals of Nuclear Pharmacy*, Fifth edit. USA: Springer-Cleveland, 2010.
- [7] W. Widyastuti, A. Ariyanto, M. Gina, K. Arina, A. Nawawi, and A. Mutalib, "Penandaan Falerin dengan Iodium-131 dan Uji Biodistribusi Pada Mencit yang Diinflamasi," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Nukl.*, pp. 290–298, 2009.
- [8] I. Grigalius and V. Petrikaite, "Relationship between Antioxidant and Anticancer Activity of Trihydroxyflavones," *Molecules*, vol. 22, no. 2169, pp. 1–12, 2017.
- [9] S. Dixit, "Anticancer Effect of Rutin Isolated from the Methanolic Extract of *Triticum aestivum* Straw in Mice," *Med. Sci.*, vol. 2, pp. 153–160, 2014.
- [10] S. Sharma, A. Ali, J. Ali, S. JK, and S. Baboota, "Rutin : therapeutic potential and recent advances in drug delivery," *Expert Opin Investig Drugs*, vol. 22(8), pp. 1–17, 2013.
- [11] A. Ganeshpurkar and A. K. Saluja, "The Pharmacological Potential of Rutin," *Saudi Pharm. J.*, vol. 25, no. 2, pp. 149–164, 2017.
- [12] O. Benavente-Garcia and J. Castillo, "Update on Uses and Properties of Citrus Flavonoids : New Findings in Anticancer , Cardiovascular , and," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, pp. 6185–6205, 2008.
- [13] M. H. Choi *et al.*, "Efficient radiolabeling of rutin with ^{125}I and biodistribution study of radiolabeled rutin," *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2015.

Organized by:



Supported by:



Seminar Nasional Kimia 2019

Aula Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Gunung Djati Bandung

ISBN 978-602-53770-1-3

